



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**REKONFIGURASI JARINGAN, PENENTUAN LOKASI
KAPASITOR DAN DISTRIBUTED GENERATION (DG)
UNTUK MENINGKATKAN KELUARAN DAYA AKTIF DG DAN
MINIMISASI RUGI DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL
TIGA FASA DENGAN ALGORITMA GENETIKA**

Handy Satria
NRP 2213100017

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dimas Fajar Uman Putra, ST, MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

**NETWORK RECONFIGURATION, CAPACITORS AND
DISTRIBUTED GENERATION PLACEMENT TO INCREASE DG
ACTIVE POWER OUTPUT AND POWER LOSS MINIMIZATION
IN THREE PHASE RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM
USING GENETIC ALGORITHM**

Handy Satria
NRP 2213100017

Counsellor Lecturer
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dimas Fajar Uman Putra, ST, MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Rekonfigurasi Jaringan, Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG dan Minimisasi Rugi Daya pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa dengan Algoritma Genetika”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Handy Satria
2213100017

**REKONFIGURASI JARINGAN, PENENTUAN LOKASI
KAPASITOR DAN DISTRIBUTED GENERATION (DG)
UNTUK MENINGKATKAN KELUARAN DAYA AKTIF
DG DAN MINIMISASI RUGI DAYA PADA SISTEM
DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA DENGAN
ALGORITMA GENETIKA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Dimas Fajar Uman Putra, ST, MT.
NIP. 198811082012121001



**SURABAYA
JULI, 2017**

Rekonfigurasi Jaringan, Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG dan Minimisasi Rugi Daya pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa dengan Algoritma Genetika

Nama : Handy Satria
NRP : 2213100017
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Dimas Fajar Uman Putra, ST, MT.

ABSTRAK

Salah satu jenis jaringan distribusi yang saat ini umum digunakan adalah jaringan distribusi radial. Dengan berbagai kelebihan yang dimiliki, jaringan distribusi radial memiliki kelemahan yaitu kualitas pelayanan daya yang relatif buruk, hampir 10-13% dari total daya yang dihasilkan hilang sebagai kerugian saluran yang menyebabkan peningkatan biaya energi dan profil tegangan yang buruk sepanjang saluran. Meningkatkan pelayanan daya dapat dilakukan dengan melakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan kapasitor, dan pemasangan Distributed Generation pada jaringan distribusi. Akan tetapi, studi menunjukkan bahwa penempatan DG yang tidak tepat dapat membawa sistem kepada kerugian yang lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa DG. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini diusulkan metode peningkatan keluaran daya aktif DG dan minimisasi rugi daya menggunakan algoritma genetika.

Pada teknik optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan 2 DG dan 2 kapasitor secara simultan dengan pembobotan rugi daya (0,8) dan keluaran daya aktif DG (0,2) dan metode batasan keluaran daya menggunakan *rule of thumb*, didapatkan rugi daya paling minimal dibandingkan seluruh skenario yaitu sebesar 32,08 kW atau terjadi penurunan 80,64% dibanding rugi daya awal dengan keluaran daya aktif DG 2,302 MW dan seluruh tegangan bus telah memenuhi *constraint* 0,95 pu sampai 1,05 pu.

Kata Kunci: *Algoritma Genetika, Distributed Generation, Kapasitor, Rekonfigurasi Jaringan, Sistem Distribusi Radial.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Network Reconfiguration, Capacitors and Distributed Generation Placement to Increase DG Active Power Output and Power Loss Minimization in Three Phase Radial Distribution System using Genetic Algorithm

Name : Handy Satria
NRP : 2213100017
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Supervisor II : Dimas Fajar Uman Putra, ST, MT.

ABSTRACT

One type of distribution system that is currently commonly used is the radial distribution system. With its many advantages, the radial distribution network has a disadvantage of relatively poor quality of service power, almost 10-13% of the total power generated were lost as a line losses that causing an increase in energy costs and poor voltage profile. Improving power services can be done by reconfiguring the network, installing capacitors, and installing distributed generation on the distribution network. However, many studies show that improper DG placement can lead to greater system losses than non-DG systems. Therefore, in this final project proposed a method to increase DG active power output and minimization of power loss using genetic algorithm.

In the optimization technique of network reconfiguration, placement of 2 DGs and 2 capacitors simultaneously with weight loss (0.8) and DG power output (0.2) and the power output limitation method using the rule of thumb, obtained the minimal power losses compared to all scenario is 32.08 kW or 80.64% compared to initial power loss with the output of DG active power 2,302 MW and all bus voltages have fulfilled constraint 0.95 pu to 1.05 pu.

Keywords: *Genetic Algorithm, Distributed Generation, Capacitor, Network Reconfiguration, Radial Distribution System*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala atas karunia-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul **“Rekonfigurasi Jaringan, Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG dan Minimisasi Rugi Daya pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa dengan Algoritma Genetika”** dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami berbagai kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, doa, dan bantuan dari berbagai pihak sehingga semua kendala yang ada dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta yang selalu ada, Ayahanda, Ibunda, adik, dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa terbaik.
2. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Dimas Fajar Uman Putra, ST,MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Keluarga besar E53 *Unpredictable*.
5. Sahabat seperjuangan di kala suka maupun duka *Ngompek, Friendship of Cocoon*, dan *STPO SPO*.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan tugas akhir ini ke depannya dari semua pihak.

Surabaya, Juli 2017

Handy Satria

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PENGESAHAN

ABSTRAK.....i

ABSTRACTiii

KATA PENGANTAR.....iv

DAFTAR ISIvii

DAFTAR GAMBAR.....xi

DAFTAR TABELxiv

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1. Latar Belakang..... 1

1.2. Permasalahan 1

1.3. Tujuan 1

1.4. Batasan Masalah 2

1.5. Metodologi 3

1.6. Sistematika Penulisan..... 4

1.7. Relevansi dan Manfaat 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 7

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik 7

2.1.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial 8

2.1.2. Jaringan Radial Pohon 9

2.1.3.	Jaringan Radial dengan Tie Switch.....	9
2.1.4.	Jaringan Radial dengan Pusat Beban	9
2.1.5.	Jaringan Radial dengan Pembagian Fasa Area.....	9
2.2.	Rekonfigurasi Jaringan	10
2.3.	Kapasitor	10
2.4.	<i>Distributed Generation</i>	11
2.4.1.	Tujuan Pemasangan DG	12
2.5.	Algoritma Genetika	14
2.5.1.	Definisi dan Terminologi	15
2.5.2.	Mutasi.....	16
2.5.3.	Seleksi	17
2.5.4.	Elitisme.....	18
2.5.5.	<i>Crossover</i>	18
BAB III	PERANCANGAN DAN PEMODELAN PROGRAM.....	19
3.1.	Diagram Alur Sistem.....	19
3.2.	Fungsi Objektif dan <i>Constraint</i>	21
3.3.	Penerapan Algoritma Genetika	23
3.3.1.	Komponen dan Parameter Algoritma Genetika.....	24
3.3.2.	Konfigurasi Kromosom Pada Rekonfigurasi Jaringan.....	25
3.3.3.	Konfigurasi Kromosom Ukuran dan Lokasi DG.....	26
3.3.4.	Konfigurasi Kromosom Ukuran dan Lokasi Kapasitor	26
3.3.5.	Konfigurasi Kromosom Rekonfigurasi Jaringan, Lokasi Kapasitor dan DG	27
3.3.6.	Dekode Kromosom	27
3.3.7.	Evaluasi Fitness	28
3.3.8.	Seleksi Induk	28
3.4.	Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	28

BAB IV	SIMULASI DAN ANALISIS	33
4.1.	Simulasi Skenario A	33
4.2.	Simulasi Skenario B	37
4.3.	Simulasi Skenario C	42
4.4.	Simulasi Skenario D	49
4.4.1.	Skenario D-1	49
4.4.2.	Skenario D-2	57
4.4.3.	Skenario D-3	66
4.4.4.	Analisis Keseluruhan Skenario D	73
4.5.	Simulasi Skenario E	76
4.5.1.	Skenario E-1	77
4.5.2.	Skenario E-2	86
4.5.3.	Skenario E-3	95
4.5.4.	Analisis Keseluruhan Skenario	103
4.6.	Validasi Hasil Simulasi	106
4.7.	Perbandingan dengan Metode Optimisasi Lain	107
BAB V	PENUTUP	109
5.1.	Kesimpulan	109
5.2.	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN A		113
LAMPIRAN B		115
LAMPIRAN C		117
LAMPIRAN D		119

LAMPIRAN E	121
LAMPIRAN F	123
LAMPIRAN G	125
LAMPIRAN H.....	127
LAMPIRAN I	129
LAMPIRAN J	131
LAMPIRAN K.....	133
LAMPIRAN L	135
RIWAYAT PENULIS	137

CONTENTS

TITLE PAGE

VALIDATION SHEET

APPROVAL SHEET

ABSTRACT i

ABSTRACT iii

PREFACE iv

TABLE OF CONTENT viii

TABLE OF FIGURES xii

TABLES xiv

CHAPTER I INTRODUCTION 1

1.1. Background..... 1

1.2. Problems..... 1

1.3. Objectives 2

1.4. Scope of problems..... 2

1.5. Methodology..... 3

1.6. Systematic of Writing 4

1.7. Relevannce 4

CHAPTER II MATERIALS 7

2.1. Electric Power Distribution System..... 7

2.1.1. Radial Distribution System 8

2.1.2. Radial Tree Distribution System..... 9

2.1.3. Radial with Tie Switch System 9

2.1.4. Radial with Load System 9

2.1.5. Radial with Phasa Area System 9

2.2. Network Reconfiguration 10

2.3. Capacitor 10

2.4.	Distributed Generation	11
2.4.1.	Purpose of DG Placement	12
2.5.	Genetic Algorithm.....	14
2.5.1.	Definition dan Terminology	15
2.5.2.	Mutation	16
2.5.3.	Selection	17
2.5.4.	Elitism	18
2.5.5.	Crossover.....	18
BAB III PROGRAM DESIGN AND MODELLING		19
3.1.	Flowchart System.....	19
3.2.	Objective Function and Constraint.....	21
3.3.	Genetic Algorithm Implementation.....	23
3.3.1.	Component and Parameter of Genetic Algorithm.....	24
3.3.2.	Network Reconfiguration Chromosome Configuration	25
3.3.3.	DG Size and Location Chromosome Configuration	26
3.3.4.	Capacitor Size and Location Chromosome Configuration.....	26
3.3.5.	Simultan Chromosome Reconfiguration	27
3.3.6.	Chromosome Decode	27
3.3.7.	Fitness Evaluation	28
3.3.8.	Parent Selection.....	28
3.4.	33 Bus IEEE Radial Distribution System.....	28
CHAPTER IV DATA ANALYSIS AND SIMULATION		33
4.1.	Scenario Simulation A.....	33
4.2.	Scenario Simulation B	37
4.3.	Scenario Simulation C	42
4.4.	Scenario Simulation D.....	49
4.4.1.	Scenario D-1	49

4.4.2.	Scenario D-2.....	57
4.4.3.	Scenario D-3.....	66
4.4.4.	Analysis of Scenario D	73
4.5.	Scenario Simulation E.....	76
4.5.1.	Scenario E-1	77
4.5.2.	Scenario E-2.....	86
4.5.3.	Scenario E-3.....	95
4.5.4.	Analysis of Scenario E.....	103
4.6.	Validation of Simulation Result	106
4.7.	Comparison with Other Methods.....	107
CHAPTER V END.....		109
5.1.	Conclusion.....	109
5.2.	Suggestion	110
REFERENCES		111
APPENDIX		113
BIOGRAPHY.....		137

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. <i>Flowchart base system</i>	19
Gambar 3. 2. Flowchart optimisasi menggunakan GA	20
Gambar 3. 3. Flowchart penerapan algoritma genetika.....	23
Gambar 3. 4. Konfigurasi kromosom rekonfigurasi.....	26
Gambar 3. 5. Konfigurasi kromosom untuk DG.....	26
Gambar 3. 6. Konfigurasi kromosom untuk kapasitor	26
Gambar 3. 7. Konfigurasi kromosom simultan.....	27
Gambar 3. 8. Contoh dekode kromosom dengan 1 DG	27
Gambar 3. 9. Contoh dekode kromosom dengan 1 kapasitor.....	28
Gambar 3. 10. <i>Single line diagram</i> IEEE 33 bus	29
Gambar 4. 1. Grafik profil tegangan bus pada basic plant IEEE 33 bus	35
Gambar 4. 2. Grafik rugi daya aktif pada base system IEEE 33 bus ...	37
Gambar 4. 3. Grafik perbandingan rugi daya rekonfigurasi	40
Gambar 4. 4. Perbandingan profil tegangan bus rekonfigurasi	41
Gambar 4. 5. Grafik perbandingan rugi daya skenario C	46
Gambar 4. 6. Perbandingan profil tegangan bus skenario C	48
Gambar 4. 7. Grafik perbandingan rugi daya skenario D-1.....	55
Gambar 4. 8. Grafik perbandingan profil tegangan bus skenario D-1...	57
Gambar 4. 9. Grafik perbandingan rugi daya skenario D-2.....	63
Gambar 4. 10. Grafik perbandingan profil tegangan bus skenario D-2	65
Gambar 4. 11. Grafik perbandingan rugi daya skenario D-3.....	71
Gambar 4. 12. Grafik perbandingan profil tegangan bus skenario D-3	73
Gambar 4. 13. Grafik perbandingan rugi daya rule of thumb.....	75
Gambar 4. 14. Grafik perbandingan rugi daya max demand	76
Gambar 4. 15. Grafik perbandingan rugi daya skenario E-1	83
Gambar 4. 16. Perbandingan profil tegangan bus skenario E-1.....	85
Gambar 4. 17. Perbandingan rugi daya skenario E-2.....	92

Gambar 4. 18.	Perbandingan profil tegangan skenario E-2	94
Gambar 4. 19.	Grafik perbandingan rugi daya skenario E-3.....	100
Gambar 4. 20.	Perbandingan tegangan skenario E-3.....	103
Gambar 4. 21.	Grafik perbandingan rugi daya rule of thumb	105
Gambar 4.22.	Grafik perbandingan rugi daya max demand	106

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Profil tegangan bus IEEE standar 33 bus	34
Tabel 4. 2. Hasil simulasi aliran daya <i>basic plant</i>	35
Tabel 4. 3. Hasil simulasi aliran daya rekonfigurasi	38
Tabel 4. 4. Profil tegangan bus skenario rekonfigurasi	40
Tabel 4. 5. Solusi optimisasi rekonfigurasi jaringan	42
Tabel 4. 6. Hasil simulasi aliran daya skenario C " <i>rule of thumb</i> "	42
Tabel 4. 7. Solusi optimisasi skenario C <i>rule of thumb</i>	44
Tabel 4. 8. Hasil simulasi aliran daya " <i>max demand</i> "	44
Tabel 4. 9. Solusi optimisasi skenario C " <i>max demand</i> "	46
Tabel 4. 10. Perbandingan profil tegangan bus skenario C	47
Tabel 4. 11. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-1) " <i>rule of thumb</i> "	50
Tabel 4. 12. Solusi optimisasi skenario (D-1) " <i>rule of thumb</i> "	52
Tabel 4. 13. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-1) " <i>max demand</i> "	52
Tabel 4. 14. Solusi optimisasi skenario (D-1) " <i>max demand</i> "	54
Tabel 4. 15. Perbandingan profil tegangan bus skenario (D-1)	55
Tabel 4. 16. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-2) " <i>rule of thumb</i> "	58
Tabel 4. 17. Solusi optimisasi skenario (D-2) " <i>rule of thumb</i> "	60
Tabel 4. 18. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-2) " <i>max demand</i> "	60
Tabel 4. 19. Solusi optimisasi skenario (D-2) " <i>max demand</i> "	62
Tabel 4. 20. Perbandingan profil tegangan bus skenario D-2	63
Tabel 4. 21. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-3) " <i>rule of thumb</i> "	66
Tabel 4. 22. Solusi optimisasi skenario (D-3) " <i>rule of thumb</i> "	68
Tabel 4. 23. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-3) " <i>max demand</i> "	68
Tabel 4. 24. Solusi optimisasi skenario (D-3) " <i>max demand</i> "	70
Tabel 4. 25. Perbandingan profil tegangan bus skenario (D-3)	71
Tabel 4. 26. Perbandingan keseluruhan skenario D	74
Tabel 4. 27. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-1) <i>rule of thumb</i>	77
Tabel 4. 28. Solusi optimisasi skenario (E-1) <i>rule of thumb</i>	79

Tabel 4. 29. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-1) <i>max demand</i>	80
Tabel 4. 30. Solusi optimisasi skenario E-1 “ <i>max demand</i> ”	81
Tabel 4. 31. Perbandingan profil tegangan bus skenario (E-1)	84
Tabel 4. 32. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) “ <i>rule of thumb</i> ”	86
Tabel 4. 33. Solusi optimisasi skenario (E-2) “ <i>rule of thumb</i> ”	88
Tabel 4. 34. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) “ <i>max demand</i> ”	88
Tabel 4. 35. Solusi optimisasi skenario E-2 “ <i>max demand</i> ”	90
Tabel 4. 36. Profil tegangan bus skenario (E-2)	93
Tabel 4. 37. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-3) “ <i>rule of thumb</i> ”	95
Tabel 4. 38. Solusi optimisasi skenario (E-3) “ <i>rule of thumb</i> ”	97
Tabel 4. 39. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-3) “ <i>max demand</i> ”	98
Tabel 4. 40. Solusi optimisasi skenario (E-3) “ <i>max demand</i> ”	99
Tabel 4. 41. Profil tegangan bus skenario (E-3)	101
Tabel 4. 42. Tabel perbandingan keseluruhan skenario D	103
Tabel 4. 43. Tabel perbandingan keseluruhan skenario D (lanjutan)..	104
Tabel 4. 44. Validasi hasil simulasi.....	106
Tabel 4. 45. Perbandingan dengan metode optimisasi lain	107

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu jenis jaringan distribusi yang saat ini umum digunakan adalah jaringan distribusi radial. Jaringan distribusi sistem radial memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari jaringan distribusi dengan sistem radial adalah memiliki bentuk yang sederhana dan biaya investasi yang relatif lebih murah. Dengan berbagai kelebihan yang dimiliki, jaringan distribusi memiliki kelemahan yaitu kualitas pelayanan daya yang relatif buruk, hampir 10-13% dari total daya yang dihasilkan hilang sebagai kerugian saluran yang menyebabkan peningkatan biaya energi dan profil tegangan yang buruk sepanjang saluran [1]. Meningkatkan pelayanan daya dengan meningkatkan keluaran daya aktif dan minimisasi rugi daya dapat dilakukan dengan melakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan kapasitor, dan pemasangan *Distributed Generation* pada jaringan distribusi [2]. Akan tetapi, studi menunjukan bahwa penempatan DG yang tidak tepat dapat membawa sistem kepada kerugian yang lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa DG [3].

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini diusulkan sebuah metode optimisasi rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi kapasitor dan DG secara simultan yang digunakan untuk meningkatkan keluaran daya aktif dan minimisasi rugi daya pada sistem distribusi radial tiga fasa. Target yang diharapkan adalah untuk memperoleh keluaran daya aktif terbesar dan nilai rugi daya terkecil dibandingkan dengan saat melakukan rekonfigurasi atau penempatan DG saja. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan melakukan optimisasi aliran daya pada sistem tersebut menggunakan metode algoritma genetika. Metode ini mempresentasikan analisis untuk menemukan lokasi yang optimal untuk penempatan kapasitor dan *distributed generation* (DG) dan rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi radial tiga fasa.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Mendapatkan lokasi dan ukuran yang optimal dari kapasitor dan distributed generation dari banyaknya kemungkinan peletakan yang terbentuk pada system dengan jumlah bus yang banyak dan banyaknya kemungkinan rekonfigurasi jaringan yang dapat dilakukan.

1.3. Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan Genetic Algorithm, rekonfigurasi jaringan, dan penempatan lokasi kapasitor dan DG untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG dan minimisasi rugi daya pada sistem distribusi.
2. Pemodelan program dan perancangan perangkat lunak berbasis Matlab dengan *Genetic Algorithm* untuk meningkatkan keluaran daya aktif dan minimisasi rugi daya pada sistem distribusi radial tiga fasa.
3. Membandingkan dan menganalisa hasil simulasi perangkat lunak dari empat kasus, yaitu: base system, rekonfigurasi jaringan, penempatan DG, serta rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG dan kapasitor secara simultan untuk mendapatkan nilai keluaran daya aktif DG yang paling maksimal dan nilai rugi daya paling minimal.

1.4. Batasan Masalah

1. Fungsi objektif dari optimisasi adalah meningkatkan keluaran daya aktif DG dan minimisasi rugi daya nyata.
2. Penentuan lokasi kapasitor dan DG menggunakan metode algoritma genetika.
3. Simulasi dengan sistem distribusi radial tiga fasa seimbang ($R=S=T$).
4. Tidak membahas aliran daya secara detail.
5. Menggunakan sistem distribusi radial 33-bus standar IEEE.
6. Optimisasi dibuat untuk tujuan perencanaan (desain) bukan untuk diterapkan secara on-line.

1.5. Metodologi

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini diawali dengan mempelajari literatur yang berasal dari jurnal, *paper*, dan *text book* mengenai studi aliran daya, pengaruh rekonfigurasi jaringan, DG dan kapasitor untuk meningkatkan keluaran daya aktif dan minimisasi rugi daya, teori algoritma genetika, dan perancangan perangkat lunak menggunakan MATLAB.

Tahap kedua yaitu dilakukan pengumpulan data. Data yang digunakan meliputi data bus dan saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri dari data resistansi dan reaktansi saluran.

Tahap ketiga yaitu pemodelan program dan perancangan perangkat lunak. Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program dari optimasi rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi kapasitor dan distributed generation (DG). Maksud dari pemodelan yaitu mengetahui hasil aliran daya serta konfigurasi jaringan dan lokasi penempatan kapasitor dan distributed generation (DG). Perancangan perangkat lunak menggunakan matlab dengan algoritma genetika untuk memperoleh konfigurasi jaringan dan lokasi kapasitor dan DG untuk meningkatkan keluaran daya aktif dan minimisasi rugi daya pada sistem distribusi radial tiga fasa.

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan simulasi dan analisis. Simulasi yang dilakukan menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Simulasi terdiri dari lima kasus, yaitu: *basic plant*, rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor, penempatan DG, serta rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG dan kapasitor secara simultan untuk mendapatkan nilai keluaran daya aktif DG yang paling maksimal dan nilai rugi daya paling minimal.

Hasil simulasi dari lima kasus di atas dibandingkan dan dilakukan analisa sehingga dapat diambil suatu kesimpulan. Semua hasil yang telah dikerjakan di atas ditulis menjadi sebuah buku Tugas Akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

1. BAB I : Pendahuluan

Pada bab I dibahas mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi mengenai pengerjaan tugas akhir.

2. BAB II : Teori Penunjang

Pada bab II ini dibahas mengenai teori penunjang dalam tugas akhir ini, seperti sistem distribusi, rekonfigurasi jaringan, kapasitor bank, *distributed generation*, kapasitor bank, dan metode algoritma genetika sebagai dasar dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3. BAB III : Rekonfigurasi jaringan, Penentuan Lokasi Kapasitor dan DG Menggunakan Algoritma Genetika

Pada bab III ini dibahas mengenai penerapan metode algoritma genetika untuk menentukan rekonfigurasi jaringan yang tepat dan penempatan lokasi kapasitor dan DG pada jaringan distribusi radial 3 fasa. Pada bab ini juga terdapat data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir.

4. BAB IV : Simulasi dan Analisis

Pada bab ini dibahas mengenai hasil dan analisis dari simulasi program dengan beberapa studi kasus yang berbeda untuk mengetahui bahwa program optimasi dapat berjalan dan berfungsi sebagaimana mestinya.

5. BAB V : Penutup

Pada bab ini terdapat kesimpulan dan saran dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan. Bab ini merupakan bagian akhir dari laporan tugas akhir.

1.7. Relevansi dan Manfaat

Relevansi dan manfaat dari penulisan tugas akhir ini yaitu:

1. Didapatkan hasil yang paling optimal dengan metode algoritma genetika dalam menentukan lokasi DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan untuk meningkatkan keluaran daya aktif DG dan meminimasi rugi daya sistem distribusi radial.

2. Peningkatan kualitas pelayanan daya dari sistem distribusi radial.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dewasa ini, energi listrik merupakan kebutuhan primer dari masyarakat modern. Hampir semua sendi kehidupan masyarakat membutuhkan energi listrik. Besarnya kebutuhan energi listrik membuat semakin banyak dibangunnya pusat-pusat pembangkit listrik. Listrik yang dihasilkan oleh pusat pembangkit listrik tidak bisa langsung dimanfaatkan oleh masyarakat, dikarenakan pada umumnya lokasi pembangkit listrik yang jauh dari pusat beban dan tegangan yang masih pada level pembangkitan sehingga diperlukan proses transmisi dan distribusi tenaga listrik dari pusat pembangkitan ke pusat beban. Saluran distribusi merupakan sub sistem yang langsung berhubungan dengan pelanggan atau beban dikarenakan catu daya pada pusat-pusat beban dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Fungsi utama saluran distribusi yaitu melakukan penyaluran tenaga listrik ke beban atau pelanggan.

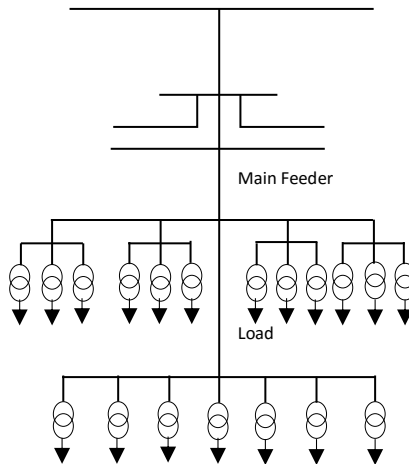
Sistem distribusi diklasifikasikan berdasarkan level tegangannya, yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Sistem distribusi primer secara umum adalah sistem yang berada pada level tegangan menengah 6 – 20 kV dan berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat Gardu Induk ke pusat – pusat beban yang ada. Sedangkan pada sistem distribusi sekunder atau yang sering disebut sistem distribusi tegangan rendah, level tegangan yang digunakan adalah 220/380 Volt dengan sistem 3 fasa 4 kawat atau 1 fasa dua kawat dan berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat Gardu Induk menuju langsung ke masing-masing konsumen atau pelanggan. Penyaluran tenaga listrik ke perumahan, industri kecil, dan penerangan jalan umum adalah beberapa contoh penyaluran pada sistem distribusi sekunder.

Beberapa jenis sistem distribusi yang umum digunakan yaitu:

- Sistem distribusi radial
- Sistem distribusi mesh
- Sistem distribusi spindle
- Sistem distribusi hantaran penghubung (*tie line*)
- Sistem distribusi loop

2.1.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi sistem radial adalah salah satu jenis jaringan distribusi yang termasuk paling umum digunakan pada saat ini. Sistem distribusi radial ini memiliki konfigurasi yang sederhana dengan biaya investasi yang relatif murah dibandingkan jaringan distribusi lain dan apabila terjadi suatu gangguan maka akan lebih mudah ditentukan letaknya. Sistem jaringan ini disebut sistem radial dikarenakan salurannya ditarik secara radial dari suatu titik pusat yang merupakan sumber listrik dari sistem tersebut dan dicabangkan ke beban-beban yang dilayani. Karena hanya ada satu sumber yang menyuplai sistem dan terdapat pencabangan ke titik beban yang dilayani, maka arus yang mengalir menuju ke beban sepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga kurang andal.



Gambar 2. 1. Sistem Distribusi Radial

Sistem ini memiliki kekurangan yaitu buruknya kualitas dalam pelayanan daya. Hal ini dikarenakan terjadi rugi daya yang cukup besar, terjadi drop tegangan, dan adanya impedansi tiap saluran. Kekurangan

lainnya yaitu kurang andal, apabila terjadi gangguan pada sistem maka dapat mengakibatkan jatuhnya sebagian atau bahkan seluruh beban sistem. Oleh karena itu sistem distribusi radial ini kurang cocok untuk menyuplai beban-beban penting seperti pangkalan militer, rumah sakit, bandara, dll.

Terdapat beberapa bentuk modifikasi jaringan distribusi radial, yaitu:

1. Jaringan radial pohon
2. Jaringan radial dengan Tie Switch
3. Jaringan Radial dengan Pusat Beban
4. Jaringan Radial dengan Pembagian Fasa Area

2.1.2. Jaringan Radial Pohon

Sistem jaringan ini adalah bentuk yang paling dasar dari sistem jaringan distribusi sistem radial. Saluran utama (*main feeder*) ditarik dari suatu Gardu Induk lalu dicabangkan melalui saluran cabang dan selanjutnya dicabangkan lagi melalui saluran anak cabang. Ukuran dari saluran tergantung dari kerapatan arus yang ditanggung saluran tersebut. Ukuran saluran terbesar yaitu dimulai dari *Main Feeder* yang selanjutnya semakin mengecil pada saluran cabang dan saluran anak cabang sampai ujung.

2.1.3. Jaringan Radial dengan Tie Switch

Sistem jaringan ini merupakan sistem jaringan distribusi radial yang ditambahkan dengan *tie* dan *switch* pemisah, sehingga dengan penambahan *tie* dan *switch* pemisah maka dapat mengatasi kekurangan sistem jaringan radial yaitu dari sisi keandalan ketika terjadi gangguan sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem tersebut.

2.1.4. Jaringan Radial dengan Pusat Beban

Jaringan radial dengan pusat beban yaitu jaringan radial dengan pusat beban yang menyuplai daya dengan menggunakan saluran utama (*main feeder*) yang dihubungkan langsung pada pusat beban, pada titik pusat beban ini lalu menyebar saluran pembebanan menggunakan *back feeder* yang dirangkai dengan sistem radial. Keandalan dari jaringan radial dengan pusat beban ini kurang dikarenakan sangat tergantung pada keandalan dari saluran utama dikarenakan hanya melalui saluran utama aliran distribusi listrik dapat mengalir menuju beban.

2.1.5. Jaringan Radial dengan Pembagian Fasa Area

Jaringan radial dengan pembagian fasa area ini hanya cocok digunakan untuk daerah beban yang stabil pada setiap fasanya pada sistem tiga fasa. Hal ini dikarenakan pada sistem ini pembebanan dilakukan pada daerah yang berlainan spesifikasi dari data bebannya. Data pembebanan ini menyebabkan kondisi sistem tiga fasa menjadi tidak seimbang. Sehingga penggunaan pada daerah beban yang awal atau baru akan membuat keandalan yang bagus dengan sistem ini akan susah didapatkan dan diterapkan.

2.2. Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan adalah suatu cara yang dilakukan untuk mengubah konfigurasi jaringan dengan cara membuka atau menutup sectionalizing switch dan tie switch pada saluran. Konfigurasi ulang ini dapat mengoptimalkan sistem sehingga dengan beban yang sama rugi daya dapat menjadi lebih kecil dibandingkan awal dan dapat mencegah ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi.

Salah satu cara yang termudah untuk melakukan rekonfigurasi jaringan yang paling optimal yaitu dengan menggunakan konsep *branch exchange*. Apabila suatu tie switch tertutup, maka akan ada loop yang terbentuk sehingga harus ada saluran dengan sectionalizing switch yang dibuka untuk mengembalikan sistem menjadi ke bentuk radial. Jumlah *sectionalizing switch* yang sangat banyak membuat banyaknya kemungkinan rekonfigurasi jaringan yang dapat terjadi. Untuk menyelesaikan permasalahan rekonfigurasi jaringan ini dapat menggunakan metode pendekatan berdasarkan teori evolusi seperti GA, PSO, dll. Pada tugas akhir ini, rekonfigurasi jaringan diterapkan bersamaan dengan pemasangan *distributed generation* dan kapasitor menggunakan metode algoritma genetika.

2.3. Kapasitor

Sesuai dengan persamaan, penghantar listrik yang semakin panjang mengakibatkan semakin besarnya sifat induktansi yang timbul pada penghantar tersebut. Ditambah apabila suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah yang dekat dengan beban, maka arus reaktif akan mengalir pada jaringan. Akibat dari hal ini adalah terjadi penurunan pada faktor daya, peningkatan rugi jaringan, dan penurunan tegangan (voltage drop) khususnya pada ujung saluran. Salah satu cara untuk mengurangi akibat dari meningkatnya arus reaktif ini adalah dengan melakukan kompensasi daya reaktif pada jaringan dan menjaga profil tegangan selalu berada pada batas (*constraint*) yang diizinkan. Kapasitor berguna sebagai sumber daya reaktif tambahan untuk mengkompensasi daya induktif akibat pembebanan tersebut. Beberapa keuntungan atau kelebihan pemasangan kapasitor yaitu [2]:

1. Perbaikan faktor daya
2. Penurunan arus total
3. Penurunan tegangan drop
4. Peningkatan daya yang tersedia
5. Penurunan rugi-rugi

Terdapat tiga jenis kapasitor daya dengan beberapa jenis frekuensi yaitu frekuensi 50 atau 60 Hz, yaitu kapasitor seri, *shunt*, dan penyadap. Kapasitor seri digunakan pada transmisi daya yang sangat panjang untuk melakukan kompensasi reaktansi induktif transmisi. Kapasitor *shunt* digunakan untuk mengkompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan ujung transmisi. Sedangkan kapasitor penyadap digunakan untuk menyadap daya dari jaringan tegangan tinggi untuk keperluan daya yang tidak terlalu besar. Pada kapasitor seri, daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban. Sedangkan pada kapasitor paralel, daya reaktif sebanding dengan kuadrat tegangan.

Pengaruh kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi radial adalah kapasitor ini dihubungkan secara paralel pada jaringan, dengan tujuan yaitu untuk perbaikan faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya dan tegangan pada jaringan. Kapasitor yang dipasang secara paralel membangkitkan daya reaktif negatif dan beban membangkitkan daya reaktif positif. Pemasangan kapasitor *shunt*, arus reaktif yang mengalir pada saluran akan berkurang. Dengan

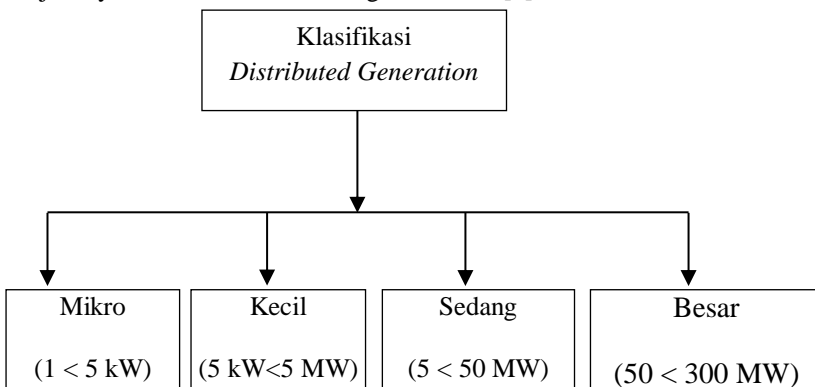
berkurangnya arus reaktif yang mengalir pada saluran, maka penurunan tegangan yang terjadi pada saluran berkurang, sehingga tegangan kirim tidak berbeda dibanding dengan tegangan terima.

2.4. *Distributed Generation*

Distributed generation dapat didefinisikan sebagai pembangkitan energi listrik berskala kecil dalam suatu jaringan distribusi atau di sisi pelanggan dari berbagai macam sumber energi dan pembangkitan dilakukan pada level tegangan distribusi. IEEE memberikan definisi *Distributed Generation* (DG) yaitu pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan pusat-pusat pembangkitan konvensional dan dapat dipasang hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik. Terdapat beberapa definisi dari kapasitas DG oleh lembaga-lembaga riset internasional berikut ini yaitu [4] :

1. *The Electric Power Research Institute* mendefinisikan *distributed generation* (DG) adalah suatu pembangkit dengan kapasitas beberapa kW sampai dengan 50 MW.
2. *Gas Research Institute* memberikan definisi *distributed generation* (DG) adalah pembangkit dengan kapasitas 25 kW sampai 25 MW.
3. Preston dan Rastler memberikan definisi yaitu DG berkapasitas beberapa kW sampai 100 MW.

Berdasarkan rating daya, DG dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu, mikro, kecil, sedang, dan besar [2].



Gambar 2. 2. Klasifikasi Distributed Generation

2.4.1. Tujuan Pemasangan DG

Pada umumnya DG dipasang pada sistem distribusi digunakan untuk mengurangi rugi daya, memperbaiki profil tegangan, kestabilan tegangan, kualitas pelayanan daya, dan meningkatkan level kehandalan sistem [2]. Oleh karena itu, penentuan lokasi DG sangat penting untuk mendapatkan hasil yang paling optimal. Berikut ini adalah beberapa pendekatan yang digunakan oleh para peneliti dalam penempatan DG.

a. Minimisasi Rugi Daya

Rau dkk [2] memperkenalkan suatu algoritma orde kedua dengan mentransformasikan variabel dalam mengoptimalkan ukuran dan lokasi DG pada suatu jaringan mesh. Pada penelitian ini pemasangan DG bertujuan untuk meminimisasi rugi daya pada jaringan tersebut. Tingkat konvergensi dari algoritma ini telah diuji pada sistem dengan 6 bus.

Kim dkk [2] mengusulkan suatu metode fuzzy-GA untuk menyelesaikan permasalahan penempatan DG pada sistem distribusi dengan fungsi objektif minimisasi rugi daya pada jaringan distribusi tersebut. *Constraint* (batasan) yang digunakan adalah ukuran atau jumlah DG dan deviasi tegangan bus. Fungsi objektif dan constraint ini ditransformasikan dalam suatu fungsi multiobjektif dan dimodelkan dengan fuzzy. Dengan mengaplikasikan metode ini, didapatkan solusi yang paling optimal dari fungsi multiobjektif di atas.

b. Perbaikan Profil Tegangan

Borges dkk [5] memperkenalkan suatu algoritma untuk mengoptimalkan ukuran dan lokasi DG dalam sistem distribusi. Optimisasi ini dilakukan dengan beberapa kombinasi metode algoritma genetika yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penempatan DG terhadap profil tegangan sistem. Rating profil tegangan berdasarkan metode aliran daya untuk jaringan distribusi radial dengan penambahan DG. Pada penelitian ini juga ditawarkan suatu metode untuk menentukan kapasitas dan lokasi DG yang paling optimal untuk memaksimalkan biaya yang dikeluarkan dengan keuntungan yang didapatkan, dimana keuntungan diukur dari penurunan rugi daya dan biaya bergantung pada investasi dan instalasi.

c. Stabilitas Tegangan (*Voltage Stability*)

Sapathy dkk [6] memperkenalkan fuzzy voltage stability indeks yang menunjukkan lokasi dan status bus yang kritis. Parameter input

dimodelkan dalam fuzzy. Hasil yang didapatkan termasuk solusi fuzzy aliran daya untuk base case dan kondisi kritis dengan dan tanpa kontingensi. Studi kasus dilakukan pada IEEE standar 14 bus, 30 bus, dan 50 bus dengan pembuktian hasil yang tepat.

d. Reliabilitas / Keandalan

Mohammadi [7] memperkenalkan suatu algoritma dengan pendekatan PSO untuk penempatan lokasi DG pada jaringan distribusi radial untuk meningkatkan keandalan sistem. Efek dari DG pada peningkatan keandalan sistem ditinjau berdasarkan suatu indeks yang disebut Reliability Improvement Index. Pengujian ini dilakukan pada IEEE 12 bus sistem.

e. Kualitas Daya (*Power Quality*)

Saedi [8] mengusulkan suatu strategi pengendalian daya yang optimal untuk pengoperasian mikro grid berdasarkan metode *real time self tuning*. Tujuan dari metode ini adalah untuk meningkatkan kualitas dari daya yang disuplai dari mikro grid yang dimana beberapa DG terhubung ke grid. Parameter yang paling dipertimbangkan yaitu pengaturan tegangan, frekuensi, dan pembagian daya, utamanya ketika transisi mode terhubung grid ke operasi *islanding*.

2.5. Algoritma Genetika

Dalam buku “Desain Sistem Tenaga Modern”, dijelaskan bahwa masalah optimisasi dalam bidang sistem tenaga saat ini berkembang sangat cepat. Untuk membahas masalah ini, diperlukan suatu metode yang dapat melaksanakan tugas secara optimal. Untuk beberapa masalah, metode optimisasi dapat digunakan pada algoritma probabilitas dengan baik. Metode probabilitas tidak menjamin harga optimum, tetapi dengan probabilitas secara acak, kesalahan dapat dibuat sekecil mungkin [9].

Perkembangan GA berawal pada tahun 1960-an, tetapi pada periode ini pertumbuhannya masih cukup lambat. Masuk ke era tahun 70-an, tepatnya pada tahun 1975, seorang peneliti yang bernama Holland mempercepat pertumbuhan pada bidang ini secara luar biasa. Penelitian GA dan pengembangannya pada era ini. Alasan pengembangan algoritma genetika adalah karena algoritma genetika termasuk mudah dalam penjelasannya. Dalam bidang pabrikan mikroelektronik yang

menginginkan performansi yang baik dengan harga yang rendah tetapi dengan kemampuan yang baik dan cepat, algoritma genetika dapat diandalkan.

2.5.1. Definisi dan Terminologi

Algoritma genetika adalah suatu algoritma yang berdasarkan proses genetika yang terjadi pada makhluk hidup, yaitu berdasarkan seleksi alam maupun genetika alam. Hal ini berarti hanya individu yang paling unggul yang dapat bertahan. Metode ini bersifat umum dan mampu diterapkan pada berbagai masalah yang sangat luas. Algoritmanya yang mudah dimengerti dan penulisan kode program yang tidak terlalu sulit. Cara kerja algoritma ini adalah terdapat sebuah populasi yang terdiri dari para individu, dimana masing-masing individu merepresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi permasalahan yang ada. Setiap individu melambangkan sebuah nilai *fitness* yang akan digunakan untuk mendapatkan solusi terbaik dari permasalahan ini [10].

Pada aplikasi GA praktis, populasi kromosom pada awalnya disusun secara acak, dengan ukuran berbeda pada setiap kasus. Siklus operasi genetik, dikondisikan sebagai proses perbaikan dengan generasi berikutnya dibuat dari populasi yang ada. Melalui seleksi induk, kromosom yang berkualitas baik akan dikawinkan untuk mendapatkan kombinasi dan campuran gen dari kedua induk (manipulasi gen) sehingga akan menghasilkan keturunan yang lebih baik. Metode seleksi yang paling umum digunakan adalah seleksi Roda Roulette.

Siklus evolusi terus berulang dan berakhir sampai kriteria yang diinginkan tercapai. Kriteria tersebut dapat dibentuk oleh angka siklus evolusi (iterasi atau generasi), atau jumlah variasi individu antar generasi yang berbeda atau nilai *fitness* yang diinginkan.

Tabel di bawah ini menjelaskan beberapa terminologi yang umum dalam istilah biologi genetika dan persamaan ekuivalennya dalam algoritma genetika.

Tabel 2. 1. Terminologi dalam algoritma genetika

Seleksi Alam	Algoritma Genetika
Genotype	Sekumpulan string yang merupakan hasil perkawinan dan berpotensi untuk menjadi solusi akhir dari kombinasi kromosom.
Individu	Satu kesatuan kromosom yang menyatakan satu kemungkinan penyelesaian.
<i>Chromosome</i>	Sekumpulan gen yang membentuk satu kesatuan nilai.
Gene	Elemen terkecil yang menyatakan nilai parameter dari individu didalam GA.
Allele	Nilai yang dimasukkan pada gen.
Populasi	Kumpulan individu.
<i>Fitness</i>	Nilai yang menyatakan baik tidaknya suatu solusi atau individu.
Generasi	Banyak iterasi yang dilakukan.

2.5.2. Mutasi

Pada alam yang sebenarnya, terdapat beberapa proses yang dapat menyebabkan mutasi, seperti error yang terjadi ketika replikasi. (Pada bakteri, tingkat mutasi yang terjadi sebesar 2×10^{-3} [FU90, BA96, p19]). Dengan representasi biner sederhana, mutasi sangat mudah untuk diimplementasikan. Sebagai contoh, apabila probabilitas P_m adalah 0,001, maka mutasi akan terjadi setiap satu per seribu [10]. Mutasi mengubah secara berurutan satu atau lebih gen dari kromosom yang terseleksi menggunakan perubahan acak dan probabilitas yang sama dengan mutation rate. Mutation rate yang banyak digunakan oleh literatur berkisar antara 0 sampai 0,1. Angka itu sangat kecil yang sesuai dengan realitas di alam bahwa peluang mutasi yang terjadi adalah sangat langka.

Untuk populasi besar di atas 100, crossover rate berharga 0,6, dan mutation rate berharga 0,001. Untuk populasi kecil, crossover rate berharga 0,9 dan mutation rate berharga 0,01 [9]. Namun, beberapa referensi lain tidak menggunakan standar tersebut. Ada beberapa referensi yang mengambil persamaan distribusi Gauss sebagai model mutasi.

2.5.3. Seleksi

Sejauh ini, operator pada seleksi sangatlah sederhana: 50% terbaik populasi terpilih melakukan reproduksi dan sisanya dibuang. Ini adalah metode praktis tetapi bukanlah yang umum digunakan. Satu alasan untuk hal ini yang meskipun memungkinkan individu terbaik untuk bereproduksi (dan menghentikan yang terjelek); metode ini tidak dapat membedakan individu mana yang baik dan sangat baik. Dan juga, bukan hanya membiarkan individu yang kurang baik untuk berevolusi pada generasi selanjutnya dengan probabilitas rendah, cara ini benar-benar menghilangkan individu tersebut (yang menyebabkan mengurangi keragaman genetik pada populasi). Metode seleksi yang lebih umum adalah fitness-proportional, atau roulette wheel. Dengan pendekatan ini, probabilitas dari seleksi proporsional terhadap fitness tiap individu [10]. Roda roulette menjadi metode seleksi yang paling umum digunakan karena seluruh populasi yang membentuk roda roulette dengan ukuran slot tiap individu sebanding dengan fitness nya. Roda roulette diputar dan

bola imajiner dilemparkan. Kemungkinan bola menempati suatu slot proporsional dengan interval slot yang sebanding dengan fitness.

2.5.4. Elitisme

Seleksi berdasarkan fitness tidak dapat menjamin bahwa didapatkan individu yang paling baik. Terkecuali terdapat sangat banyak individu yang sangat baik, ada kemungkinan individu yang terbaik tidak terpilih. Tidak terpilih berarti mati [10]. Sehingga digunakanlah cara elitism untuk menyimpan dan update nilai *fitness* yang terbaik setiap generasi. *Fitness* yang akan disimpan atau di-update merupakan *fitness* yang terbaik dan memenuhi semua kriteria (*constraint*).

2.5.5. Crossover

Crossover adalah proses kawin silang. *Crossover* dilakukan melalui operasi dari dua kromosom orang tua untuk membentuk dua anak (*offspring*) yang sama melalui segmen orang tua. Contoh, jika orang tua (*parents*) direpresentasikan oleh 5 vektor dimensi (a_1, b_1, c_1, d_1, e_1) dan (a_2, b_2, c_2, d_2, e_2), kemudian terjadi crossover, maka generasi kedua adalah offspring (a_1, b_1, c_2, d_2, e_2) dan (a_2, b_2, c_1, d_1, e_1). Intuisi di belakang penerapan operator *crossover* adalah perubahan informasi antara solusi potensial yang berbeda. Operasi *crossover* dilakukan setelah pemilihan kromosom dilakukan oleh roda roulette. Pada saat kromosom sudah tertata rapi, proses crossover dapat dilakukan. *Crossover* dapat dilakukan oleh sentuhan satu titik atau lebih. *Crossover rate* yang banyak digunakan berkisar antara 0,6 sampai 1. Angka tersebut cukup besar dibandingkan peluang mutasi. *Crossover* yang dilakukan dengan banyak titik akan memperbaiki kinerja sistem dibandingkan jika menggunakan *crossover* pada satu titik [9].

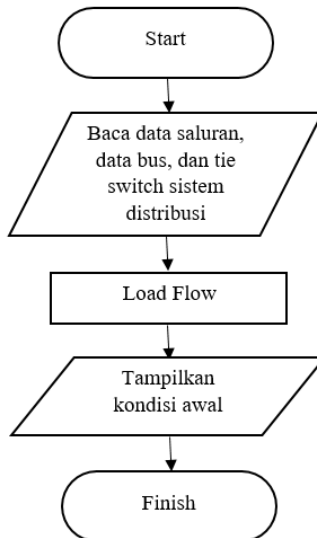
BAB III PERANCANGAN DAN PEMODELAN PROGRAM

3.1. Diagram Alur Sistem

Berikut ini adalah diagram alur sistem penerapan algoritma genetika dalam menentukan lokasi kapasitor dan DG serta rekonfigurasi jaringan untuk meningkatkan keluaran daya aktif dan minimisasi rugi daya pada sistem distribusi radial.

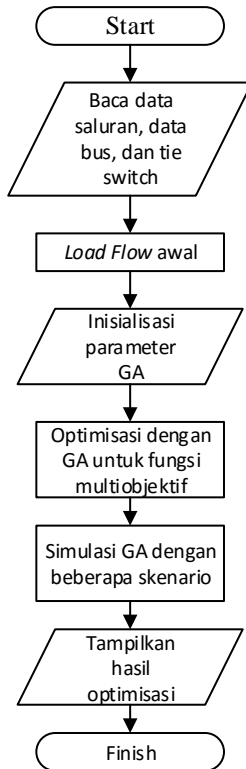
a. *Base system* sebelum optimisasi

Pada skenario ini dilakukan *loadflow* hanya untuk menampilkan kondisi awal sistem sebelum dilakukan optimisasi pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus, seperti tegangan tiap bus dan rugi saluran yang untuk selanjutnya dibandingkan dengan solusi yang didapat setelah dilakukan optimisasi.



Gambar 3. 1. *Flowchart base system*

- b. Setelah dilakukan optimisasi
- Pada skenario ini, dilakukan optimisasi pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dengan beberapa kasus yang berbeda berdasarkan jumlah DG dan kapasitor yang dipasang dan nilai pembobotan yang berbeda-beda dengan metode pembatasan keluaran daya aktif DG *rule of thumb* dan *max demand*.



Gambar 3. 2. Flowchart optimisasi menggunakan GA

3.2. Fungsi Objektif dan *Constraint*

Pada tugas akhir ini, fungsi objektif yang diinginkan dari penentuan lokasi DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan adalah meningkatkan keluaran daya aktif dan minimisasi total rugi daya nyata. Hasil yang didapatkan dikatakan optimum apabila nilai rugi daya aktif saluran yang diperoleh adalah yang terkecil dan nilai keluaran daya aktif dari setiap DG yang dipasang adalah yang terbesar [11].

Keluaran Daya aktif maksimal [12]:

$$\text{Maximize } F(x) = \sum_{i=1}^{NDG} PDGi \quad (3.1)$$

Dimana,

P_{DG} = Keluaran daya aktif pada DG ke-i

N_{DG} = jumlah unit DG yang dipasang pada jaringan

Total rugi daya nyata minimal [13],

$$I_{ij} = I_l = y_{ij}(V_i - V_j) \quad (3.2)$$

$$I_{ji} = -I_l = -(y_{ij}(V_i - V_j)) \quad (3.3)$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (3.4)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (3.5)$$

$$S_l = S_{ij} + S_{ji} \quad (3.6)$$

Kerugian daya pada setiap saluran yang menghubungkan bus i ke bus j dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$P_{loss(i,j)} = \text{real}(S_l) \quad (3.7)$$

Dari persamaan 3.6, total kerugian daya dapat dihitung dengan cara menjumlahkan kerugian daya pada setiap saluran sehingga didapatkan persamaan berikut

$$\text{Min } F_1(x) = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (3.8)$$

Dimana n adalah jumlah cabang dari jaring distribusi, dan $(i,j) \in B$ berarti (i,j) adalah 2 titik dari sebuah saluran bus_i dan bus_j .

Normalisasi fungsi multi objektif [12]

$$\text{Min } F(x) = w_1 \frac{F_1(x)}{F_1^0} - w_2 \frac{F_2(x)}{F_2^0} \quad (3.9)$$

Dimana,

$$w_1 + w_2 = 1$$

$$w_i > 0 \quad (i = 1, 2)$$

w_1, w_2 = faktor pembobotan (*weighting factor*)

F_1 = Fungsi objektif rugi daya

F_2 = Fungsi objektif keluaran daya aktif DG

F_1^0 = Fungsi objektif rugi daya sebelum optimisasi

F_2^0 = Fungsi objektif keluaran daya aktif DG sebelum optimisasi

Beberapa *constraint* yang harus dipenuhi yaitu sistem dalam bentuk radial, batasan daya keluaran DG dan kapasitor, serta batasan tegangan yang diizinkan pada tiap bus [14] :

Constraint tegangan [12]

$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{max} \quad (3.10)$$

Batasan tegangan yang diizinkan pada tiap bus dimana selisih antara tegangan tiap bus dengan tegangan sumber yakni 12,66 kV tidak boleh melebihi 5%. Diharapkan tidak terjadi *under voltage* ataupun *over voltage* yaitu tegangan harus berada antara 0,95 p.u dan 1,05 p.u.

Constraint injek daya aktif (P MW) dari DG

$$\sum_{i=1}^{NDG} PDG(i) \leq \sum_{j=1}^{Ni} PD(j) \quad (3.11)$$

Constraint injek daya reaktif (Q Mvar) dari kapasitor

$$\sum_{i=1}^{NC} Qc(i) + \sum_{j=1}^{NDG} QDG(j) \leq \sum_{j=2}^n QD(j) \quad (3.12)$$

Daya keluaran DG dan kapasitor bank dibatasi dengan cara :

- *Rule of thumb*

Batasan daya keluaran DG dan kapasitor bank menggunakan rule of thumb adalah 2/3 dari total beban daya aktif (3,715 MW) dan 2/3 dari

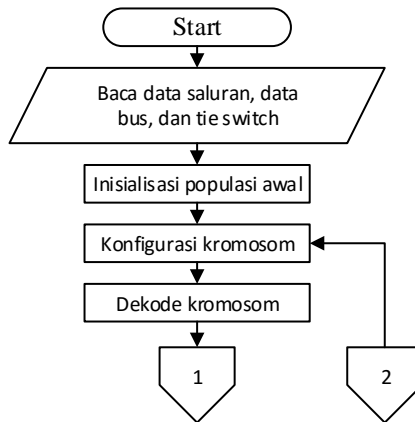
total beban daya reaktif (2,3 MVAR) yakni sebesar 2,476 MW dan 1,533 MVAR [15].

- *Max demand*

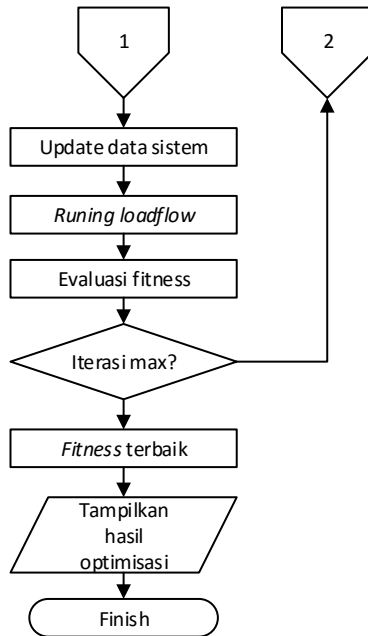
Batasan daya keluaran DG dan kapasitor bank menggunakan *max demand* atau pembebanan maksimum dari sistem sebesar 3,715 MW total beban daya aktif dan 2,3 MVAR total beban daya reaktif.

3.3. Penerapan Algoritma Genetika

Pada tugas akhir ini, masalah optimisasi akan diselesaikan menggunakan metode algoritma genetika. Algoritma genetika dipilih dikarenakan merupakan algoritma yang bersifat umum, mudah dimengerti, penulisan kode program yang tidak sulit, mampu menyelesaikan permasalahan non linier pada sistem tenaga, dan kemampuan menyelesaikan permasalahan optimisasi multi objektif [9] [16]. Berikut ini adalah pemodelan algoritma genetika yang dilakukan.



Gambar 3. 3. Flowchart penerapan algoritma genetika



Gambar 3.4. Flowchart penerapan algoritma genetika (lanjutan)

3.3.1. Komponen dan Parameter Algoritma Genetika

Berikut ini adalah komponen pada algoritma genetika,

- a. Gen
Digunakan jenis biner sehingga parameter yang digunakan pada metode algoritma genetika ini adalah angka nol dan satu. Setiap gen memiliki nilai tersendiri.
- b. Kromosom
Kromosom merupakan kumpulan dari gen-gen yang membentuk individu, banyaknya gen bergantung pada jumlah optimasi yang dilakukan dan jumlah DG dan kapasitor yang dipasang.
- c. Individu
Individu merupakan representasi dari sebuah kromosom. Individu membawa nilai fitness berupa rugi daya minimum dan keluaran daya

aktif DG maksimum, sedangkan solusi yang dihasilkan berupa status tutup dan buka tie switch, lokasi, dan ukuran dari kapasitor dan DG yang dipasang.

d. Populasi

Populasi adalah kumpulan dari kromosom. Setelah dilakukan *trial and error* untuk mendapatkan populasi yang tepat, pada tugas akhir ditentukan populasi yang digunakan adalah 50.

e. *Fitness*

Fitness pada optimisasi pada tugas akhir ini yaitu fungsi multi objektif minimisasi rugi daya saluran dan meningkatkan keluaran daya aktif DG.

Keluaran Daya aktif maksimal:

$$\text{Maximize } F(x) = \sum_{i=1}^{NDG} PDGi \quad (3.13)$$

Total rugi daya minimal:

$$\text{Min } F_1(x) = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (3.14)$$

Normalisasi fungsi multi objektif

$$\text{Min } F(x) = w_1 \frac{F_1(x)}{F_1^0} + w_2 \frac{F_2(x)}{F_2^0} \quad (3.15)$$

f. Jumlah generasi

Setelah beberapa jumlah generasi dan tidak ada kelanjutan perbaikan yang diamati, kromosom terbaik merepresentasikan sebuah solusi optimal. Pada tugas akhir kali ini setelah dilakukan *trial and error* ditentukan jumlah generasi adalah 75.

g. *Crossover* dan *Probability of Crossover*

Berdasarkan referensi, untuk populasi kecil di bawah 100, *crossover rate* berharga 0,9. Sehingga pada tugas akhir ini *probability of crossover* sebesar 0,95 dan digunakan operasi crossover satu titik.

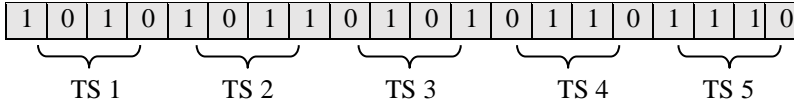
h. *Mutation* dan *Probability of Mutation*

Berdasarkan referensi, untuk populasi kecil di bawah 100 *mutation rate* berharga 0,01. Sehingga pada tugas akhir ini *probability of mutation* sebesar 0,05 dengan jenis mutasi dua titik.

3.3.2. Konfigurasi Kromosom Pada Rekonfigurasi Jaringan

Cara yang termudah untuk melakukan rekonfigurasi jaringan yang paling optimal yaitu dengan menggunakan konsep *branch exchange*. Apabila tie switch tertutup, maka akan ada loop yang terbentuk sehingga harus ada saluran dengan sectionalizing switch yang dibuka untuk

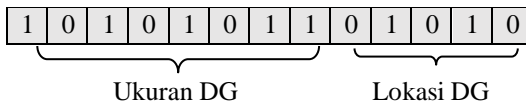
mengembalikan sistem ke bentuk radial. Berikut ini merupakan inialisasi populasi pada rekonfigurasi jaringan menggunakan algoritma genetika. Satu *tie switch* membutuhkan 4 bit, sehingga untuk lima *tie switch* dibutuhkan 20 bit seperti pada gambar.



Gambar 3. 4. Konfigurasi kromosom rekonfigurasi

3.3.3. Konfigurasi Kromosom Ukuran dan Lokasi DG

Pada tugas akhir ini, DG berfungsi untuk menyuplai daya aktif (P). Pengkodean biner pada penempatan DG terdiri dari dua bagian bit, yaitu ukuran dan lokasi DG.

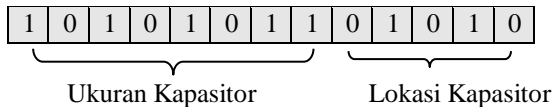


Gambar 3. 5. Konfigurasi kromosom untuk DG

Kromosom terbagi menjadi 2 bagian bit yaitu 8 bit untuk pengkodean daya keluaran atau ukuran DG dan 5 bit untuk pengkodean lokasi DG. Sehingga total terdapat 13 kromosom. Apabila dilakukan penambahan DG, maka terjadi kelipatan 13 pada setiap penambahan satu DG.

3.3.4. Konfigurasi Kromosom Ukuran dan Lokasi Kapasitor

Pada tugas akhir ini, kromosom berfungsi untuk menyuplai daya reaktif (Q). Pengkodean biner pada penempatan kapasitor terdiri dari dua bagian bit, yaitu ukuran dan lokasi kapasitor.



Gambar 3. 6. Konfigurasi kromosom untuk kapasitor

Sama seperti DG, kromosom terbagi menjadi 2 bagian bit yaitu 8 bit untuk pengkodean ukuran kapasitor dan 5 bit untuk pengkodean lokasi

kapasitor. Sehingga total terdapat 13 kromosom. Apabila dilakukan penambahan kapasitor, maka terjadi kelipatan 13 pada setiap penambahan satu kapasitor.

3.3.5. Konfigurasi Kromosom Rekonfigurasi Jaringan, Lokasi Kapasitor dan DG

Setelah dijabarkan konfigurasi kromosom masing-masing dari rekonfigurasi jaringan, lokasi kapasitor dan DG, maka berikut ini adalah konfigurasi kromosom apabila optimisasi dilakukan secara simultan.

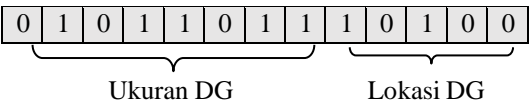
DG 1	...	DG n	Kap 1	...	Kap n	TS 1	...	TS n
------	-----	------	-------	-----	-------	------	-----	------

Gambar 3. 7. Konfigurasi kromosom simultan

Jumlah gen pada konfigurasi kromosom ini adalah 13 bit dikalikan jumlah total kapasitor dan DG yang dipasang, ditambahkan dengan rekonfigurasi jaringan sebesar 20 bit.

3.3.6. Dekode Kromosom

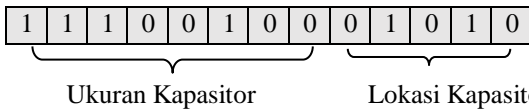
Populasi yang telah dibangkitkan dan dikodekan pada kromosom, tidak bisa langsung digunakan untuk melakukan update pada data bus, data saluran, dan nilai fitness dikarenakan masih berbentuk kode biner yang belum diterjemahkan. Agar bisa digunakan, maka diperlukan penterjemahan kode biner menjadi nilai output yang selanjutnya diinputkan untuk melakukan update pada sistem dan dilakukan evaluasi fitness untuk mencari solusi yang paling optimum. Berikut ini adalah contoh penterjemahan atau dekode kromosom dari data biner menjadi data desimal.



Gambar 3. 8. Contoh dekode kromosom dengan 1 DG

Maka didapatkan solusi
 Ukuran DG = 0,66 kW

Lokasi DG = 20



Gambar 3. 9. Contoh decode kromosom dengan 1 kapasitor

Maka didapatkan solusi

Ukuran kapasitor = 0,84 kVAR

Lokasi kapasitor = 10

3.3.7. Evaluasi Fitness

Anak baru (offspring) yang mengalami perubahan gen-gen dari induknya akan diterjemahkan (decoding) sehingga menghasilkan solusi. Solusi ini selanjutnya digunakan untuk update sistem kemudian dilakukan load flow. Dari hasil load flow didapatkan nilai dan disimpan di dalam fitness i yang kemudian dilakukan evaluasi apakah fitness yang didapat telah memenuhi constraint yang sebelumnya sudah ditentukan.

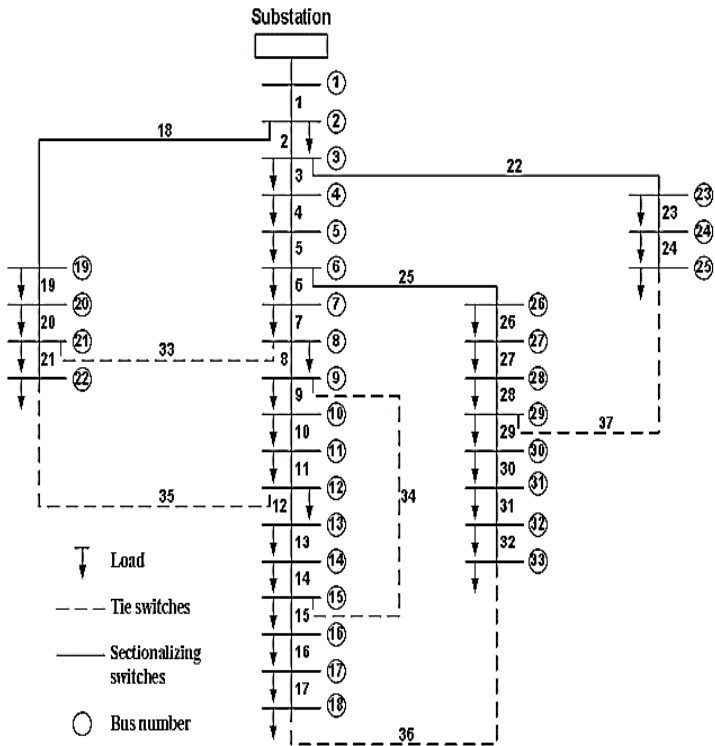
3.3.8. Seleksi Induk

Seleksi induk bertujuan membentuk keturunan baru berdasarkan orangtua yang terpilih, Komponen ini sangat dominan dalam algoritma genetik bila dibandingkan dengan komponen mutasi. Pada tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah random pair selection. Cara kerja metode ini yaitu memilih dua induk secara acak. Oleh karena itu jumlah kromosom yang digunakan sebanyak dua buah kromosom. Harapan dari proses ini adalah kromosom baru akan mempunyai bagian baik dari kromosom lama dan tidak menutup kemungkinan menjadi kromosom yang lebih baik.

3.4. Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

Sistem distribusi yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Pada sistem distribusi IEEE 33 bus, sistem yang digunakan berupa saluran distribusi tiga fasa seimbang dimana terdapat 32 sectionalizing switches dan 5 tie switches dengan rating

tegangan 12,66 kV. Jumlah total beban daya aktif pada sistem adalah 3,715 MW dan beban daya reaktifnya 2,3 Mvar. Berikut ini merupakan *single line diagram*, data saluran, dan data pembebanan sistem.



Gambar 3. 10. *Single line diagram* IEEE 33 bus

Tabel 3.1 Data saluran Sistem IEEE 33 bus

Sending Bus	Receiving Bus	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	0,0922	0,0470
2	3	0,0493	0,2511
3	4	0,0366	0,1864
4	5	0,3811	0,1941
5	6	0,8190	0,7070
6	7	0,1872	0,6188
7	8	0,7144	0,2351
8	9	1,0300	0,7400
9	10	1,0400	0,7400
10	11	0,1966	0,0640
11	12	0,3744	0,1238
12	13	1,4680	1,1550
13	14	0,5416	0,7129
14	15	0,5910	0,0526
15	16	0,7463	0,5450
16	17	1,2890	1,7210
17	18	0,7320	0,5740
2	19	0,1640	0,1565
19	20	1,5042	1,3554
20	21	0,4095	0,4784
21	22	0,7089	0,9373
3	23	0,4512	0,3083
23	24	0,8980	0,7091
24	25	0,8960	0,7011
6	26	0,2030	0,1034
26	27	0,2842	0,1447
27	28	1,0590	0,9337
28	29	0,8042	0,7006
29	30	0,5075	0,2585
30	31	0,9744	0,9630
31	32	0,3105	0,3619
32	33	0,3410	0,5302

Tabel 3.2 Data Pembebanan Sistem IEEE 33 bus

No Bus	Data Pembebanan			No Bus	Data Pembebanan	
	P(MW)	Q(MVar)			P(MW)	Q(MVar)
1	0,100	0,060		20	0,090	0,040
2	0,090	0,040		21	0,090	0,040
3	0,120	0,080		22	0,090	0,050
4	0,060	0,030		23	0,420	0,200
5	0,060	0,020		24	0,420	0,200
6	0,200	0,100		25	0,060	0,025
7	0,200	0,100		26	0,060	0,025
8	0,060	0,020		27	0,060	0,020
9	0,060	0,020		28	0,120	0,070
10	0,045	0,030		29	0,200	0,600
11	0,060	0,035		30	0,150	0,070
12	0,060	0,035		31	0,210	0,100
13	0,120	0,080		32	0,060	0,040
14	0,080	0,010		33	0,100	0,060
15	0,060	0,020				
16	0,060	0,020				
17	0,090	0,040				
18	0,090	0,040				
19	0,090	0,040				

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini, akan dilakukan simulasi dari pemodelan sistem pada bab sebelumnya dan hasil yang didapat analisis dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Simulasi akan dilakukan pada sistem distribusi radial 33 bus bus standart IEEE dengan beberapa skenario yang berbeda-beda yaitu,

- a. Skenario A: *Basic plant*
- b. Skenario B: Optimisasi rekonfigurasi jaringan
- c. Skenario C: Optimisasi penempatan kapasitor
- d. Skenario D: Optimasi penempatan DG dengan pembobotan multi objektif yang berbeda-beda.
- e. Skenario E: Optimasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor, dan penempatan DG secara simultan dengan pembobotan multi objektif yang berbeda-beda.

Pada simulasi ini, terdapat beberapa parameter yang diperhatikan yaitu, rugi daya aktif yang dihasilkan, tegangan tiap bus, dan keluaran daya aktif DG. Hasil simulasi dapat dikatakan optimal apabila rugi daya aktif saluran yang didapat paling minimal, profil tegangan bus (*V line to neutral*) berada pada *range* yang diizinkan yaitu 0,95 pu sampai 1,05 pu, dan keluaran daya aktif DG paling maksimal. Keluaran daya DG dan kapasitor dibatasi dengan dua metode, yaitu *rule of thumb* dan *max demand*. Hasil dari kedua metode ini juga akan dibandingkan untuk mengetahui solusi yang paling optimal. Sedangkan untuk aliran daya menggunakan metode *backward – forward sweep*.

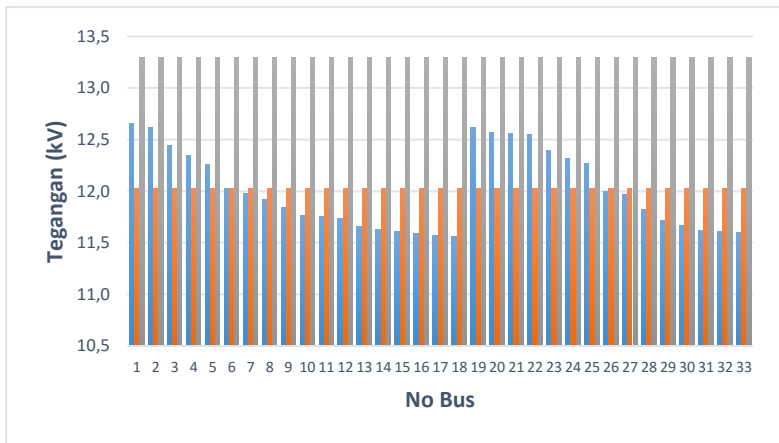
4.1. Simulasi Skenario A

Pada skenario A ini, hanya dilakukan *load flow* pada *base system* IEEE 33 bus untuk mengetahui tegangan tiap bus dan rugi daya yang terjadi ketika tidak dilakukan optimasi menggunakan algoritma genetika.

Tabel 4. 1. Profil tegangan bus IEEE standar 33 bus

Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)
1	12,66	12	11,73418	23	12,39858
2	12,62243	13	11,65679	24	12,31412
3	12,44398	14	11,62809	25	12,27193
4	12,34924	15	11,61022	26	11,9982
5	12,25559	16	11,5929	27	11,96574
6	12,02263	17	11,56724	28	11,82092
7	11,9785	18	11,55955	29	11,71687
8	11,91717	19	12,61574	30	11,67184
9	11,83781	20	12,57045	31	11,61915
10	11,76419	21	12,56153	32	11,60756
11	11,75329	22	12,55346	33	11,60397

Dari tabel di atas terlihat bahwa masih banyak bus dengan tegangan *under voltage* tidak memenuhi constraint yang diizinkan yaitu pada *range* 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Apabila ditelusuri dengan melihat single line diagram sistem distribusi radial IEEE standar 33 bus, bus yang mengalami drop tegangan yang kemudian terjadi *under voltage* yaitu bus yang memiliki saluran sangat panjang sehingga semakin ke ujung maka tegangan semakin kecil. Drop tegangan ini terjadi dikarenakan semakin panjang saluran, maka impedansi saluran juga semakin besar sehingga mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada saluran. Profil tegangan tiap bus apabila digambarkan pada sebuah grafik maka didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 4. 1. Grafik profil tegangan bus pada *basic plant* IEEE 33 bus

Hasil simulasi aliran daya *basic plant* dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2. Hasil simulasi aliran daya *basic plant*

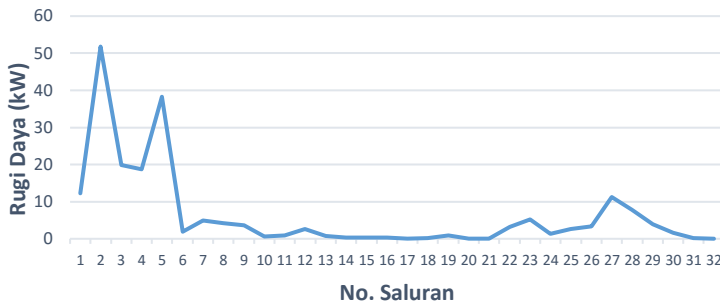
Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	364,36	-31,86	12,2405	6,2398
2	3	324,12	-32,65	51,7917	26,3791
3	4	233,18	-35,38	19,9007	10,1352
4	5	221,51	-35,48	18,6992	9,5238
5	6	216,11	-35,71	38,2492	33,0185
6	7	101,13	-25,6	1,9146	6,3288
7	8	82,47	-25,36	4,8586	1,5989
8	9	63,71	-24,98	4,1807	3,0036
9	10	58,4	-25,57	3,5611	2,5241
10	11	53,07	-26,27	0,5537	0,1831
11	12	48,51	-25,55	0,8812	0,2914

Tabel 4.2 Hasil simulasi aliran daya *basic plant* (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
12	13	42,62	-24,88	2,6663	2,0978
13	14	36,69	-23,96	0,7292	0,9598
14	15	24,58	-18,89	0,357	0,3177
15	16	19,42	-21,32	0,2815	0,2056
16	17	13,97	-22,29	0,2516	0,336
17	18	8,52	-24,46	0,0531	0,0417
2	19	31,33	-24,02	0,161	0,1536
19	20	23,52	-24,05	0,8322	0,7499
20	21	15,69	-24,06	0,1008	0,1177
21	22	7,85	-24,07	0,0436	0,0577
3	23	83,97	-25,85	3,1816	2,174
23	24	75,68	-25,51	5,1437	4,0617
24	25	37,91	-25,53	1,2875	1,0074
6	26	113,19	-45,55	2,6009	1,3248
26	27	108,23	-46,67	3,329	1,695
27	28	103,3	-47,91	11,3009	9,9638
28	29	98,69	-49,45	7,8334	6,8242
29	30	87,61	-52,05	3,8957	1,9843
30	31	40,44	-26,17	1,5936	1,575
31	32	26,2	-27,02	0,2132	0,2485
32	33	6,21	-33,31	0,0132	0,0205
Total Losses				202,686	135,143

Dari tabel di atas diketahui bahwa rugi daya aktif pada IEEE 33 bus base system masih sangat besar, yaitu 202,686 kW. Rugi daya ini berarti sebesar 15,65 % dari total daya aktif yang di suplai dari *substation*.

Apabila melihat kembali pada tabel, diketahui bahwa rugi daya terbesar terjadi pada saluran 1 sampai saluran 5. Hal ini sesuai dengan rumus daya aktif yaitu $P = I^2.R$, karena arus yang melewati saluran tersebut cukup besar bila dibandingkan saluran lainnya maka rugi daya saluran yang terjadi pun besar. Berikut ini adalah grafik rugi daya yang terjadi pada basic plant IEEE 33 bus.



Gambar 4. 2. Grafik rugi daya aktif pada base system IEEE 33 bus

4.2. Simulasi Skenario B

Pada skenario B ini, dilakukan optimisasi rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus menggunakan algoritma genetika. Rekonfigurasi jaringan adalah suatu cara yang dilakukan untuk mengubah topologi jaringan dengan cara membuka atau menutup *sectionalizing switch* dan *tie switch* pada saluran. Konfigurasi ulang ini dapat mengoptimalkan sistem sehingga dengan beban yang sama didapatkan rugi daya yang lebih kecil dan dapat mencegah ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi. Setelah dilakukan simulasi optimisasi menggunakan algoritma genetika, berikut ini adalah tabel hasil simulasi aliran daya setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan.

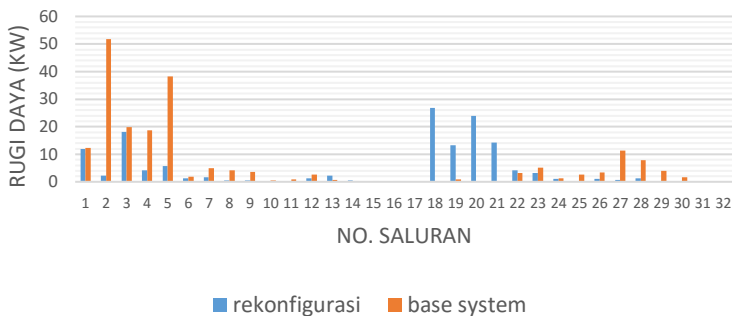
Tabel 4. 3. Hasil simulasi aliran daya rekonfigurasi

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	358,894	-31,957	11,8758	6,0538
2	19	117,390	-25,870	2,26	2,1566
19	20	109,576	-26,004	18,061	16,274
20	21	101,62	-26,140	4,2294	4,941
21	8	53,009	-23,812	5,6199	5,6199
8	9	34,711	-21,996	1,241	0,8916
9	15	29,510	-22,495	1,7417	1,7417
15	16	24,605	-24,964	0,4518	0,33
16	17	19,386	-26,483	0,4845	0,6468
17	18	14,174	-29,093	0,1471	0,1153
18	33	6,013	-34,712	0,0181	0,0181
21	22	40,746	-29,514	1,177	1,5562
22	12	32,766	-30,745	2,1473	2,1473
12	13	17,575	-33,227	0,4535	0,3568
13	14	11,870	-34,347	0,0763	0,1004
12	11	9,5417	-26,087	0,0341	0,0113
11	10	5,189	-19,059	0,005	0,001
2	3	233,27	-35,056	26,826	13,663
3	23	171,148	-38,563	13,216	9,030
23	24	162,969	-39,052	23,850	18,833
24	25	126,300	-43,157	14,292	11,183
25	29	90,412	-50,684	4,087	4,087
29	30	79,692	-53,621	3,223	1,641
30	31	33,398	-25,025	1,086	1,074

Tabel 4.3 Hasil simulasi aliran daya rekonfigurasi (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
31	32	19,5183	-25,218	0,1183	0,1379
3	4	55,4359	-25,775	1,1248	0,5728
4	5	44,0083	-23,726	0,7381	0,3759
5	6	38,6288	-23,343	1,2221	1,055
6	7	18,0244	-26,570	0,0608	0,201
6	26	15,5678	-21,223	0,0492	0,0251
26	27	10,3324	-20,531	0,0303	0,0154
27	28	5,1003	-18,418	0,0275	0,0243
Total Losses				139,982	104,884

Dari tabel di atas, diketahui bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif pada saluran sebesar 30,93% dari 202,69 kW menjadi 139,982 kW. Hal ini terjadi dikarenakan dengan dilakukan optimisasi perubahan rekonfigurasi jaringan menggunakan algoritma genetika sehingga aliran daya menjadi lebih efisien dengan rugi daya yang semakin kecil bila dibandingkan dengan basic plant. Berikut ini perbandingan rugi daya aktif pada simulasi optimisasi rekonfigurasi jaringan bila dibandingkan dengan *base system*.



Gambar 4. 3. Grafik perbandingan rugi daya rekonfigurasi dengan *base system*

Setelah ditinjau pengaruh optimisasi rekonfigurasi jaringan terhadap rugi daya aktif pada sistem, selanjutnya perlu ditinjau juga pengaruhnya terhadap profil tegangan pada tiap bus. Berikut ini adalah tabel tegangan tiap bus pada sistem distribusi IEEE 33 bus setelah dilakukan optimisasi rekonfigurasi jaringan menggunakan algoritma genetika.

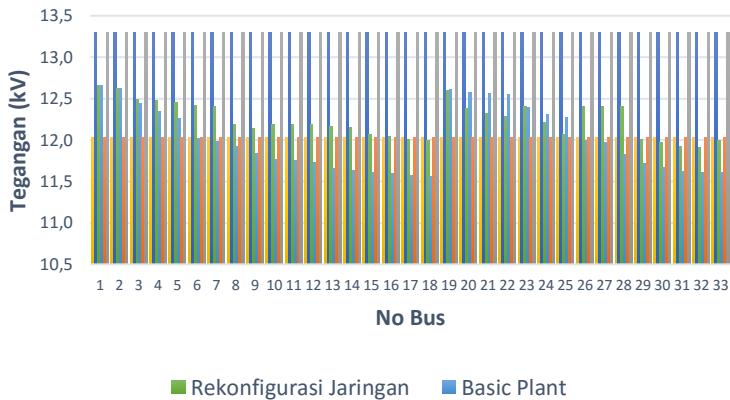
Tabel 4. 4. Profil tegangan bus skenario rekonfigurasi

Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)
1	12,66	12	12,1926	23	12,4019
2	12,623	13	12,1599	24	12,2155
3	12,4952	14	12,1499	25	12,0719
4	12,4724	15	12,0674	26	12,4102
5	12,4537	16	12,0452	27	12,407
6	12,4138	17	12,0082	28	12,4003
7	12,4058	18	11,9953	29	12,0083
8	12,1867	19	12,5977	30	11,9678

Tabel 4.4 Profil tegangan bus skenario rekonfigurasi (lanjutan)

Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)
9	12,1441	20	12,3846	31	11,9246
10	12,1877	21	12,326	32	11,9161
11	12,1888	22	12,2822	33	11,9911

Dapat dilihat pada tabel di atas, bahwa optimisasi rekonfigurasi jaringan masih belum cukup efektif dikarenakan masih terjadi *undervoltage* pada beberapa bus, yaitu bus 17,18 dan bus 29 sampai dengan 33. Berikut ini grafik perbandingan profil tegangan bus hasil optimisasi rekonfigurasi jaringan bila dibandingkan dengan *basic plant*.



Gambar 4. 4. Perbandingan profil tegangan bus rekonfigurasi dengan *basic plant*

Dari grafik di atas terlihat bahwa rekonfigurasi jaringan dapat memperbaiki profil tegangan bus tetapi masih belum cukup efektif dikarenakan masih terdapat beberapa bus yang mengalami *undervoltage* sehingga belum memenuhi *constraint* yang telah ditentukan.

Tabel 4. 5. Solusi optimisasi rekonfigurasi jaringan

Saluran yang terbuka	
Sending Bus	Receiving Bus
7	8
9	10
14	15
32	33
28	29

4.3. Simulasi Skenario C

Pada skenario ini, dilakukan optimisasi penempatan 2 unit kapasitor pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus menggunakan algoritma genetika dengan batasan keluaran daya kapasitor *rule of thumb* dan *max demand*. Kapasitor disini berfungsi sebagai suplai daya reaktif pada jaringan. Skenario yang dilakukan yaitu:

- Skenario C metode *rule of thumb*
- Skenario C metode *max demand*

Setelah dilakukan optimisasi menggunakan algoritma genetika, maka didapatkan hasil simulasi aliran daya penempatan 2 kapasitor pada jaringan 33 bus standar IEEE pada tabel berikut.

Tabel 4. 6. Hasil simulasi aliran daya skenario C "*rule of thumb*"

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	320,32	-17,9	9,46	4,82
2	3	280,24	-16,79	38,72	19,73
3	4	190,31	-12,4	13,26	6,75
4	5	179,54	-11,03	12,28	6,26
5	6	174,31	-10,55	24,89	21,48
6	7	89,98	-0,8	1,52	5,01
7	8	74,02	5,65	3,9	1,29
8	9	59,46	15,49	3,64	2,62

Tabel 4.6 Hasil simulasi aliran daya skenario C "*rule of thumb*" (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
9	10	55,27	18,65	3,19	2,26
10	11	51,27	22,34	0,52	0,17
11	12	49,02	26,8	0,9	0,31
12	13	46,29	32,95	3,15	2,47
13	14	44,19	39,81	1,06	1,39
14	15	42,88	55,63	1,09	0,97
15	16	18,83	-23,51	0,26	0,19
16	17	13,54	-24,48	0,24	0,32
17	18	8,26	-26,64	0,05	0,04
2	19	31,32	-24,06	0,16	0,15
19	20	23,51	-24,08	0,83	0,75
20	21	15,68	-24,09	0,1	0,12
21	22	7,84	-24,1	0,04	0,06
3	23	83,76	-26,1	3,17	2,16
23	24	75,49	-25,76	5,12	4,04
24	25	37,81	-25,78	1,28	1,01
6	26	81,77	-20,72	1,36	0,69
26	27	76,43	-20,53	1,66	0,85
27	28	71,07	-20,31	5,35	4,72
28	29	65,82	-20,39	3,48	3,03
29	30	54,46	-18,05	1,5	0,77
30	31	39,55	-27,81	1,52	1,51
31	32	25,63	-28,66	0,2	0,24
32	33	6,08	-34,95	0,01	0,02
Total losses				143,9	96,2

Dari tabel 4.6 di atas diketahui bahwa rugi daya dengan metode *rule of thumb* sebesar 143,9 kW. Solusi dari optimisasi skenario ini dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7. Solusi optimisasi skenario C *rule of thumb*

Unit Kapasitor	Lokasi	Daya Keluaran (MVAR)
1	30	0,623
2	15	0,527
Total Daya Keluaran		1,15

Diketahui bahwa total daya keluaran kapasitor sebesar 1,15 MVAR dari maksimal batasan daya keluaran *rule of thumb* 1,533 MVAR. Ini berarti keluaran daya sebesar 75,01% dari maksimal. Sedangkan untuk hasil simulasi aliran daya metode *max demand* terdapat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8. Hasil simulasi aliran daya "*max demand*"

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	311,75	-11,96	8,96	4,57
2	3	272,58	-9,95	36,63	18,66
3	4	186,31	-2,13	12,71	6,47
4	5	176,56	-0,13	11,88	6,05
5	6	171,74	0,69	24,16	20,85
6	7	90,52	4,9	1,53	5,07
7	8	75,78	12,44	4,09	1,35
8	9	62,95	23,4	4,08	2,93
9	10	59,29	26,89	3,67	2,6
10	11	55,88	30,85	0,61	0,2
11	12	54,27	35,2	1,1	0,38
12	13	52,37	41,04	4,03	3,17

Tabel 4.8 Hasil simulasi aliran daya "*max demand*" (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
13	14	51,09	47,27	1,41	1,86
14	15	51,23	60,7	1,55	1,38
15	16	50,02	66,24	1,87	1,36
16	17	13,41	-25,28	0,23	0,31
17	18	8,17	-27,44	0,05	0,04
2	19	31,31	-24,08	0,16	0,15
19	20	23,51	-24,1	0,83	0,75
20	21	15,68	-24,11	0,1	0,12
21	22	7,84	-24,12	0,04	0,06
3	23	83,69	-26,19	3,16	2,16
23	24	75,43	-25,85	5,11	4,03
24	25	37,78	-25,87	1,28	1,01
6	26	76,76	-2,94	1,2	0,61
26	27	71,8	-1,42	1,47	0,75
27	28	66,9	0,32	4,74	4,18
28	29	62,02	1,99	3,09	2,7
29	30	52,86	8,99	1,42	0,72
30	31	69,43	57,6	4,7	4,64
31	32	25,25	-29,7	0,2	0,23
32	33	5,99	-35,99	0,01	0,02
Total Losses				146,07	99,38

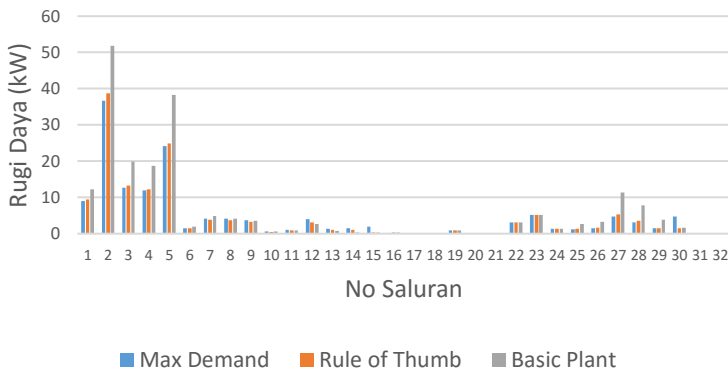
Pada tabel 4.8 di atas diketahui bahwa rugi daya saluran sebesar 146,07 kW dengan rugi daya saluran terbesar pada saluran bus kirim 1

sampai bus terima 5. Solusi dari hasil optimisasi skenario *C max demand* dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9. Solusi optimisasi skenario C “*max demand*”

Unit Kapasitor	Lokasi	Daya Keluaran (MVAR)
1	16	0,647
2	31	0,934
Total Daya Keluaran		1,581

Dari tabel hasil simulasi kedua metode di atas, didapatkan rugi daya saluran pada metode *rule of thumb* sebesar 143,9 kW atau turun 29% dibanding *basic plant* dengan keluaran daya reaktif sebesar 1,15 MVAR. Sedangkan pada metode *max demand* rugi daya saluran sebesar 146,07 kW atau turun sebesar 27,9% dengan keluaran daya reaktif sebesar 1,581 MVAR. Apabila dibandingkan dengan *basic plant*, rugi daya reaktif juga terjadi penurunan pada kedua metode. Pada metode *rule of thumb*, rugi daya reaktif turun menjadi 96,2 Kvar sedangkan pada metode *max demand* rugi daya reaktif turun menjadi 99,38. Dari hasil ini membuktikan bahwa penempatan kapasitor dapat menurunkan rugi daya saluran. Metode *rule of thumb* lebih efektif dalam menurunkan rugi daya saluran pada jaringan distribusi bila dibandingkan dengan *max demand*.



Gambar 4. 5. Grafik perbandingan rugi daya skenario C

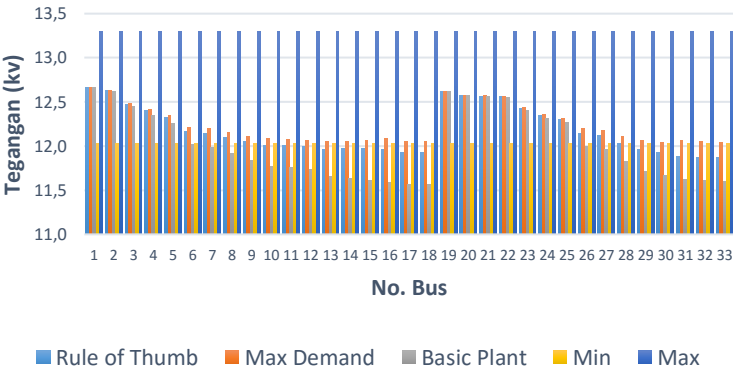
Tabel 4. 10. Perbandingan profil tegangan bus skenario C

No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
1	12,660	12,660	12,660
2	12,627	12,629	12,622
3	12,475	12,485	12,444
4	12,399	12,416	12,349
5	12,325	12,348	12,256
6	12,163	12,211	12,023
7	12,147	12,200	11,979
8	12,097	12,152	11,917
9	12,051	12,113	11,838
10	12,011	12,080	11,764
11	12,003	12,073	11,753
12	11,990	12,061	11,734
13	11,965	12,047	11,657
14	11,968	12,058	11,628
15	11,974	12,068	11,610
16	11,957	12,081	11,593
17	11,932	12,056	11,567
18	11,925	12,049	11,560
19	12,621	12,622	12,616
20	12,575	12,577	12,570
21	12,566	12,568	12,562
22	12,558	12,560	12,554
23	12,429	12,440	12,399
24	12,345	12,355	12,314

Tabel 4.10 Perbandingan profil tegangan bus skenario C (lanjutan)

No	Rule of Thumb (kV)	Max Demand (kV)	Basic Plant (kV)
25	12,303	12,313	12,272
26	12,145	12,195	11,998
27	12,121	12,175	11,966
28	12,028	12,106	11,821
29	11,963	12,059	11,717
30	11,932	12,035	11,672
31	11,881	12,059	11,619
32	11,869	12,047	11,608
33	11,866	12,044	11,604

Dari tabel 4.10 di atas, diketahui metode *rule of thumb* belum mampu memperbaiki profil tegangan dikarenakan masih terdapat bus yang mengalami *undervoltage* yaitu pada bus 12 sampai 18 dan bus 29 sampai 33. Sedangkan untuk metode *max demand* telah mampu memperbaiki seluruh tegangan bus sehingga memenuhi *constraint* yang ditentukan. Berikut ini grafik perbandingan profil tegangan bus skenario C dengan *basic plant*.



Gambar 4. 6. Perbandingan profil tegangan bus skenario C

Dari grafik pada gambar 4.6 di atas terlihat bahwa metode *rule of thumb* melewati batas tegangan minimum atau dengan kata lain masih terjadi fenomena *undervoltage*. Sedangkan untuk metode *max demand* pada skenario C ini, sudah tidak terjadi fenomena *undervoltage* pada seluruh bus walaupun terdapat beberapa bus yang kritis yaitu mendekati batas bawah *constraint* 0,95 pu.

4.4. Simulasi Skenario D

Pada skenario ini, dilakukan optimisasi penempatan 2 unit DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus menggunakan algoritma genetika dengan beberapa pembobotan yang berbeda berdasarkan fungsi multi objektif rugi daya saluran dan keluaran daya aktif DG dan pembatasan keluaran daya aktif DG berdasarkan metode *rule of thumb* dan *max demand*. Skenario yang dilakukan yaitu:

- Skenario D-1
 1. Skenario D-1 pembobotan rugi daya 0,8 dan keluaran daya aktif DG 0,2 metode *Rule of Thumb (RoT)*.
 2. Skenario D-1 pembobotan rugi daya 0,8 dan keluaran daya aktif DG 0,2 metode *Max Demand (MD)*.
- Skenario D-2
 1. Skenario D-2 pembobotan rugi daya 0,5 dan keluaran daya aktif DG 0,5 metode *Rule of Thumb (RoT)*.
 2. Skenario D-2 pembobotan rugi daya 0,5 dan keluaran daya aktif DG 0,5 metode *Max Demand (MD)*.
- Skenario D-3
 1. Skenario D-3 pembobotan rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif DG 0,8 metode *Rule of Thumb (RoT)*.
 2. Skenario D-3 pembobotan rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif DG 0,8 metode *Max Demand (MD)*.

4.4.1. Skenario D-1

Pada skenario ini dilakukan optimisasi penempatan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus standar menggunakan algoritma genetika dengan pembobotan multiobjektif rugi daya 0,8 dan keluaran daya aktif DG 0,2. Pembobotan ini berarti solusi *fitness* yang diperoleh dari optimisasi algoritma genetika memiliki prioritas minimisasi rugi daya yaitu sebesar 0,8 dan meningkatkan keluaran daya aktif sebesar 0,2.

Untuk memperoleh hasil yang paling optimal pada pembobotan tersebut, terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu jumlah unit DG dan batasan daya keluarannya. Jumlah unit DG yang digunakan pada skenario ini yaitu 2 unit dengan dua metode batasan keluaran daya aktif yaitu *rule of thumb* dengan keluaran daya aktif maksimal 2,476 MW dan *max demand* dengan keluaran daya aktif maksimal 3,715 MW. Hasil yang didapatkan setelah dilakukan optimisasi dapat dilihat pada tabel 4.10 dan tabel 4.11.

Tabel 4. 11. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-1) “*rule of thumb*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	216,96	-59,25	4,34	2,21
2	3	184,66	-66,23	16,81	8,57
3	4	130,15	-93,41	6,2	3,16
4	5	124,85	-98	5,94	3,03
5	6	123,33	-100,37	12,46	10,75
6	7	42,06	-96,81	0,33	1,09
7	8	40,2	-121,94	1,15	0,38
8	9	45,96	-144,78	2,18	1,56
9	10	49,26	-149,43	2,53	1,8
10	11	49,92	-24,03	0,49	0,16
11	12	45,63	-23,3	0,78	0,27
12	13	40,08	-22,62	2,36	1,85
13	14	34,5	-21,7	0,64	0,85
14	15	23,11	-16,63	0,32	0,28
15	16	18,26	-19,06	0,25	0,18
16	17	13,13	-20,03	0,22	0,3
17	18	8,01	-22,19	0,05	0,04

Tabel 4.11 Hasil simulasi aliran daya skenario (D-1) “*rule of thumb*” (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
2	19	31,28	-23,98	0,16	0,15
19	20	23,49	-24,01	0,83	0,75
12	13	40,08	-22,62	2,36	1,85
13	14	34,5	-21,7	0,64	0,85
14	15	23,11	-16,63	0,32	0,28
15	16	18,26	-19,06	0,25	0,18
16	17	13,13	-20,03	0,22	0,3
17	18	8,01	-22,19	0,05	0,04
2	19	31,28	-23,98	0,16	0,15
19	20	23,49	-24,01	0,83	0,75
20	21	15,66	-24,02	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,03	0,04	0,06
3	23	83,17	-25,6	3,12	2,13
23	24	74,95	-25,25	5,05	3,98
24	25	37,54	-25,28	1,26	1
6	26	81,11	-105,78	1,34	0,68
26	27	80,78	-109,47	1,85	0,94
27	28	80,81	-113,17	6,91	6,1
28	29	81,57	-116,73	5,35	4,66
29	30	82,12	-124,56	3,42	1,74
30	31	38,01	-24	1,41	1,39
31	32	24,63	-24,85	0,19	0,22
32	33	5,84	-31,14	0,01	0,02
Total Losses				88,09	60,42

Dapat dilihat pada tabel 4.11 bahwa total daya keluaran pada skenario (D-1) metode “*rule of thumb*” adalah 2,3986 MW dari batasan maksimal 2,475 MW atau sebesar 96,9%.

Tabel 4. 12. Solusi optimisasi skenario (D-1) “*rule of thumb*”

Unit DG	Lokasi	Daya Keluaran (MW)
1	10	1,1606
2	30	1,238
Total Daya Keluaran		2,398

Tabel 4.12 merupakan solusi optimisasi skenario D-1 *rule of thumb*. Sedangkan untuk hasil simulasi aliran daya metode *max demand* dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4. 13. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-1) “*max demand*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	187,4	-87,59	3,24	1,65
2	3	172,2	-99,55	14,62	7,45
3	4	134,97	-74,22	6,67	3,4
4	5	126,57	-77,64	6,11	3,11
5	6	123,35	-79,59	12,46	10,76
6	7	74,46	-144,31	1,04	3,43
7	8	79,31	-23,78	4,48	1,48
8	9	61,25	-23,4	3,86	2,78
9	10	56,14	-23,99	3,29	2,33
10	11	51,01	-24,69	0,51	0,17
11	12	46,63	-23,97	0,81	0,28
12	13	40,96	-23,29	2,46	1,94
13	14	35,26	-22,37	0,67	0,89
14	15	23,62	-17,3	0,33	0,29

Tabel 4.13 Hasil simulasi aliran daya skenario (D-1) “*max demand*” (lanjutan)

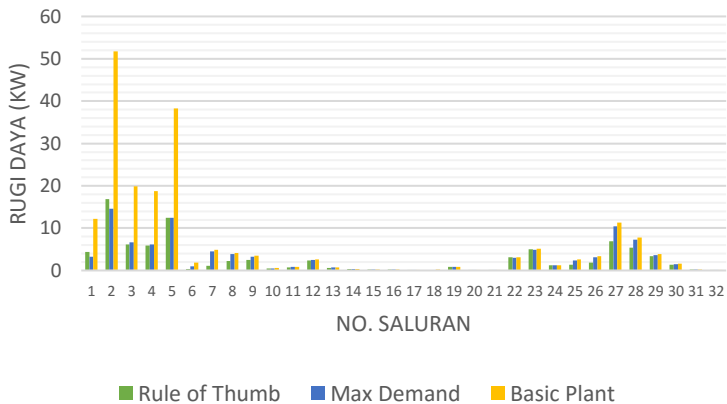
Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
15	16	18,66	-19,73	0,26	0,19
16	17	13,42	-20,7	0,23	0,31
17	18	8,19	-22,86	0,05	0,04
2	19	31,26	-23,96	0,16	0,15
19	20	23,47	-23,98	0,83	0,75
19	20	23,47	-23,98	0,83	0,75
20	21	15,65	-23,99	0,1	0,12
21	22	7,83	-24	0,04	0,06
3	23	81,26	-153,06	2,98	2,04
23	24	74,19	-24,91	4,94	3,9
24	25	37,16	-24,93	1,24	0,98
6	26	109,1	-44,44	2,42	1,23
26	27	104,3	-45,56	3,09	1,57
27	28	99,55	-46,81	10,49	9,25
28	29	95,1	-48,35	7,27	6,34
29	30	84,42	-50,95	3,62	1,84
30	31	38,96	-25,06	1,48	1,46
31	32	25,24	-25,91	0,2	0,23
32	33	5,99	-32,2	0,01	0,02
Total Losses				99,96	70,44

Tabel 4.13 di atas menunjukkan hasil simulasi aliran daya skenario (D-1) metode *max demand* yang lebih besar 11,97 kW dibandingkan metode *rule of thumb*. Solusi hasil optimisasi metode *max demand* dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut.

Tabel 4. 14. Solusi optimisasi skenario (D-1) “*max demand*”

Unit DG	Lokasi	Daya Keluaran (MW)
1	23	1,857
2	7	1,857
Total Daya Keluaran		3,715

Dari tabel 4.11 dan 4.13 hasil simulasi aliran daya di atas, didapatkan bahwa terjadi penurunan rugi daya yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan basic plant yaitu sebesar 56,5% pada metode *rule of thumb* dengan rugi daya 88,09 kW dan 50,68% pada *max demand* dengan rugi daya 99,96 kW. Untuk keluaran daya aktif DG, keluaran daya aktif DG pada metode *rule of thumb* sebesar 2,398 MW dari keluaran daya maksimalnya yaitu 2,475 MW. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya aktif maksimalnya yaitu sebesar 3,715 MW. Dari hasil di atas diketahui bahwa penempatan 2 DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus lebih efisien menggunakan metode batasan keluaran daya *rule of thumb* dibandingkan dengan *max demand* apabila ditinjau dari rugi daya yang dapat diturunkan dan daya yang dibangkitkan oleh DG. Hal ini dikarenakan pada metode *rule of thumb* dengan keluaran daya 2,398 MW dapat menurunkan rugi daya aktif saluran sampai dengan 56,5%, sedangkan pada metode *max demand* didapatkan daya keluaran yang maksimal yaitu sebesar 3,715 MW tetapi rugi daya yang diturunkan hanya sebesar 50,68%.



Gambar 4. 7. Grafik perbandingan rugi daya skenario D-1 dengan *basic plant*

Dari gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif yang signifikan dari kedua metode bila dibandingkan dengan *basic plant*.

Ketika ditinjau dari profil tegangan bus, penempatan 2 DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dapat memperbaiki profil tegangan sehingga tegangan masih berada di dalam *constraint* yang ditentukan yaitu 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Berikut ini pada tabel 4.15 adalah profil tegangan tiap bus dari tiap metode dan perbandingan dengan *basic plant*.

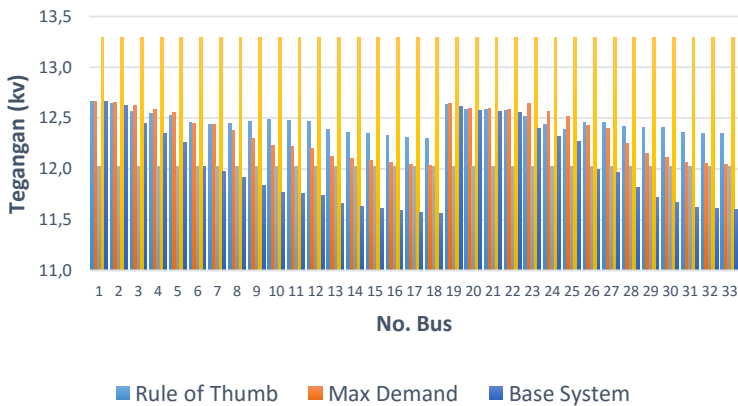
Tabel 4. 15. Perbandingan profil tegangan bus skenario (D-1)

No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
1	12,660	12,66	12,660
2	12,641	12,6505	12,622
3	12,562	12,6224	12,444
4	12,541	12,5851	12,349
5	12,524	12,5514	12,256
6	12,459	12,4489	12,023
7	12,434	12,4344	11,979

Tabel 4.15 Perbandingan profil tegangan bus skenario (D-1) (lanjutan)

No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
8	12,442	12,3755	11,917
9	12,463	12,2992	11,838
10	12,490	12,2284	11,764
11	12,480	12,2179	11,753
12	12,462	12,1996	11,734
13	12,389	12,1252	11,657
14	12,362	12,0976	11,628
15	12,346	12,0804	11,610
16	12,329	12,0638	11,593
17	12,305	12,0391	11,567
18	12,298	12,0318	11,560
19	12,634	12,6438	12,616
20	12,589	12,5986	12,570
21	12,580	12,5897	12,562
22	12,572	12,5817	12,554
23	12,517	12,6441	12,399
24	12,434	12,5613	12,314
25	12,392	12,5199	12,272
26	12,456	12,4254	11,998
27	12,453	12,3941	11,966
28	12,421	12,2545	11,821
29	12,403	12,1543	11,717
30	12,411	12,1109	11,672
31	12,361	12,0601	11,619
32	12,350	12,049	11,608
33	12,347	12,0455	11,604

Terlihat pada tabel 4.15 bahwa gejala *undervoltage* pada bus 6 sampai 18 dan bus 26 sampai 33 dapat diperbaiki dengan dilakukan penempatan 2 DG pada sistem. Hal ini sesuai dengan salah satu keuntungan pemasangan DG yaitu mampu memperbaiki profil tegangan. Setelah mengetahui perbandingan profil tegangan bus tiap metode dan perbandingannya dengan *basic plant*, berikut ini perbandingan tersebut bila disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Grafik perbandingan profil tegangan bus skenario D-1 dengan *basic plant*

4.4.2. Skenario D-2

Pada skenario ini dilakukan optimisasi penempatan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus standar menggunakan algoritma genetika dengan pembobotan multiobjektif rugi daya 0,5 dan keluaran daya aktif DG 0,5. Pembobotan ini berarti solusi *fitness* yang diperoleh dari optimisasi algoritma genetika memiliki prioritas seimbang antara minimisasi rugi daya yaitu sebesar 0,5 dan meningkatkan keluaran daya aktif sebesar 0,5. Untuk memperoleh hasil yang paling optimal pada pembobotan tersebut, terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu jumlah unit DG dan batasan daya keluarannya. Jumlah unit DG yang digunakan pada skenario ini yaitu 2 unit dengan dua metode batasan keluaran daya aktif yaitu *rule of thumb* dengan keluaran daya aktif

maksimal 2,476 MW dan *max demand* dengan keluaran daya aktif maksimal 3,715 MW. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan setelah dilakukan optimisasi.

Tabel 4. 16. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-2) “*rule of thumb*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	214	-60,64	4,22	2,15
2	3	182,39	-67,97	16,4	8,36
3	4	130,74	-96,04	6,26	3,19
4	5	125,93	-100,7	6,04	3,08
5	6	124,65	-103,07	12,72	10,98
6	7	43,38	-104,76	0,35	1,16
7	8	43,87	-128,52	1,37	0,45
8	9	51,13	-148,47	2,69	1,93
9	10	54,65	-152,42	3,12	2,21
10	11	49,79	-23,92	0,49	0,16
11	12	45,51	-23,2	0,78	0,27
12	13	39,97	-22,52	2,35	1,85
13	14	34,41	-21,6	0,64	0,84
14	15	23,05	-16,53	0,31	0,28
15	16	18,21	-18,96	0,25	0,18
16	17	13,1	-19,92	0,22	0,3
17	18	7,99	-22,09	0,05	0,04
2	19	31,28	-23,98	0,16	0,15
19	20	23,49	-24	0,83	0,75
20	21	15,66	-24,01	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,02	0,04	0,06
3	23	83,14	-25,59	3,12	2,13

Tabel 4.16 Hasil simulasi aliran daya skenario (D-2) “*rule of thumb*”(lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
19	20	23,49	-24	0,83	0,75
20	21	15,66	-24,01	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,02	0,04	0,06
3	23	83,14	-25,59	3,12	2,13
23	24	74,93	-25,25	5,04	3,98
24	25	37,53	-25,27	1,26	1
6	26	81,02	-105,75	1,33	0,68
26	27	80,7	-109,44	1,85	0,94
27	28	80,72	-113,14	6,9	6,08
28	29	81,48	-116,69	5,34	4,65
29	30	82,03	-124,53	3,41	1,74
30	31	37,97	-23,97	1,4	1,39
31	32	24,6	-24,82	0,19	0,22
32	33	5,83	-31,11	0,01	0,02
Total Losses				89,24	61,34

Pada tabel 4.16 di atas diketahui total rugi daya skenario (D-2) metode “*rule of thumb*” sebesar 89,24 kW dengan nilai rugi daya saluran terbesar pada saluran yang melewati bus kirim 1 sampai bus terima 5. Rugi daya terbesar terjadi pada saluran yang melewati bus awal ini dikarenakan arus yang mengalir besar sehingga rugi yang terjadi juga semakin besar. Hasil simulasi ini sesuai dengan teori persamaan rugi daya I^2R .

Tabel 4. 17. Solusi optimisasi skenario (D-2) “*rule of thumb*”

Unit DG	Lokasi	Daya Keluaran (MW)
1	10	1,237
2	30	1,237
Total Daya Keluaran		2,475

Diketahui dari tabel 4.16 bahwa 2 DG yang dipasang mampu mengeluarkan daya masing-masing 1,237 MW yang dipasang pada bus berbeda sehingga total daya keluaran sebesar 2,475 MW. Pemasangan DG secara langsung pada bus beban mampu menyuplai daya aktif sehingga rugi daya saluran pun berkurang signifikan. Sedangkan untuk hasil simulasi dengan metode *max demand* dapat dilihat pada tabel 4.18 berikut.

Tabel 4. 18. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-2) “*max demand*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	187,52	-87,55	3,24	1,65
2	3	172,28	-99,5	14,63	7,46
3	4	134,97	-74,22	6,67	3,4
4	5	126,58	-77,64	6,11	3,11
5	6	123,35	-79,59	12,46	10,76
6	7	74,46	-144,31	1,04	3,43
7	8	79,31	-23,78	4,48	1,48
8	9	61,25	-23,4	3,86	2,78
9	10	56,14	-23,99	3,29	2,33
10	11	51,01	-24,69	0,51	0,17
11	12	46,63	-23,97	0,81	0,28
12	13	40,96	-23,29	2,46	1,94
13	14	35,26	-22,37	0,67	0,89
14	15	23,62	-17,3	0,33	0,29

Tabel 4.18 Hasil simulasi aliran daya skenario (D-2) “*max demand*” (lanjutan)

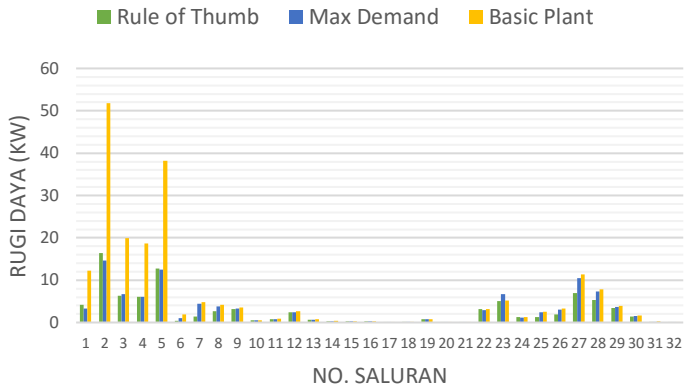
Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
15	16	18,66	-19,73	0,26	0,19
16	17	13,42	-20,7	0,23	0,31
17	18	8,19	-22,86	0,05	0,04
2	19	31,26	-23,96	0,16	0,15
19	20	23,47	-23,98	0,83	0,75
20	21	15,65	-23,99	0,1	0,12
21	22	7,83	-24	0,04	0,06
3	23	81,19	-152,95	2,97	2,03
23	24	86,07	-157,42	6,65	5,25
24	25	36,77	-24,45	1,21	0,96
6	26	109,1	-44,44	2,42	1,23
26	27	104,31	-45,56	3,09	1,57
27	28	99,55	-46,81	10,49	9,25
28	29	95,1	-48,35	7,27	6,34
29	30	84,42	-50,95	3,62	1,84
30	31	38,96	-25,06	1,48	1,46
31	32	25,24	-25,91	0,2	0,23
32	33	5,99	-32,2	0,01	0,02
Total Losses				101,6	71,7

Pada metode *max demand* diketahui dari tabel 4.18 di atas bahwa rugi daya total sebesar 101,6 kW. Solusi optimisasi skenario (D-2) dengan metode *max demand* dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4. 19. Solusi optimisasi skenario (D-2) “*max demand*”

Unit DG	Lokasi	Daya Keluaran (MW)
1	24	1,8575
2	7	1,8575
Total Daya Keluaran		3,715

Dari tabel hasil simulasi aliran daya dari kedua metode di atas, didapatkan bahwa terjadi penurunan rugi daya yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan basic plant yaitu sebesar 55,97% pada metode *rule of thumb* dengan rugi daya 89,24 kW dan 50,68% pada *max demand* dengan rugi daya 101,6 kW. Untuk keluaran daya aktif DG, keluaran daya aktif DG pada metode *rule of thumb* sebesar 2,475 MW dari keluaran daya maksimalnya yaitu 2,475 MW. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya aktif maksimalnya yaitu sebesar 3,715 MW dari keluaran daya aktif maksimalnya yaitu 3,715 MW. Dari hasil di atas diketahui bahwa penempatan 2 DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus lebih efisien menggunakan metode batasan keluaran daya *rule of thumb* dibandingkan dengan *max demand* apabila ditinjau dari rugi daya yang dapat diturunkan dan daya yang dibangkitkan oleh DG. Hal ini dikarenakan pada metode *rule of thumb* dengan keluaran daya 2,475 MW dapat menurunkan rugi daya aktif saluran sampai dengan 55,97%, sedangkan pada metode *max demand* didapatkan daya keluaran yang maksimal yaitu sebesar 3,715 MW tetapi rugi daya yang diturunkan hanya sebesar 50,68%.



Gambar 4. 9. Grafik perbandingan rugi daya skenario D-2 dengan *basic plant*

Dari gambar 4.9 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif yang signifikan dari kedua metode bila dibandingkan dengan *basic plant*. Rugi daya saluran terbesar yang terjadi pada saluran 1 sampai 5 dapat diminimalisir dengan pemasangan 2 DG tersebar yang tepat pada lokasi berbeda sehingga mampu menyuplai daya aktif pada sistem.

Ditinjau dari profil tegangan bus, penempatan 2 DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dapat memperbaiki profil tegangan sehingga tegangan masih di dalam *constraint* yang ditentukan yaitu 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Berikut ini adalah tabel tegangan tiap bus dan grafik perbandingan profil tegangan bus skenario B dengan *basic plant*.

Tabel 4. 20. Perbandingan profil tegangan bus skenario D-2

No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
1	12,660	12,660	12,66
2	12,642	12,651	12,622
3	12,566	12,622	12,444
4	12,547	12,585	12,349

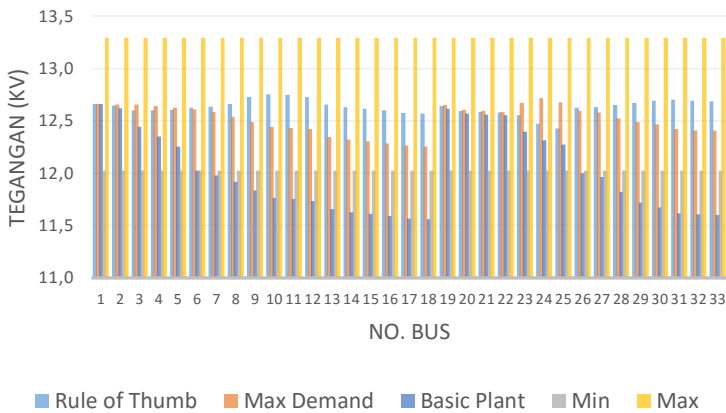
Tabel 4.20 Perbandingan profil tegangan bus skenario D-2 (lanjutan)

No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
5	12,532	12,551	12,256
6	12,472	12,449	12,023
7	12,448	12,434	11,979
8	12,461	12,375	11,917
9	12,487	12,299	11,838
10	12,521	12,228	11,764
11	12,511	12,218	11,753
12	12,493	12,199	11,734
13	12,421	12,125	11,657
14	12,394	12,098	11,628
15	12,377	12,080	11,61
16	12,361	12,064	11,593
17	12,337	12,039	11,567
18	12,330	12,032	11,56
19	12,635	12,644	12,616
20	12,590	12,599	12,57
21	12,581	12,590	12,562
22	12,573	12,582	12,554
23	12,521	12,644	12,399
24	12,437	12,693	12,314
25	12,395	12,652	12,272
26	12,469	12,425	11,998
27	12,466	12,394	11,966
28	12,434	12,254	11,821

Tabel 4.20 Perbandingan profil tegangan bus skenario D-2 (lanjutan)

No	Rule of Thumb (kV)	Max Demand (kV)	Basic Plant (kV)
29	12,416	12,154	11,717
30	12,424	12,111	11,672
31	12,374	12,060	11,619
32	12,364	12,049	11,608
33	12,360	12,045	11,604

Dari tabel 4.20 di atas diketahui bahwa penempatan 2 DG secara tersebar telah mampu memperbaiki profil tegangan bus sehingga tidak terjadi *undervoltage*. Akan tetapi, pada metode *max demand* terdapat beberapa bus yang berstatus kritis karena mendekati batas 0,95 pu. Grafik perbandingan profil tegangan bus skenario D-2 dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4. 10. Grafik perbandingan profil tegangan bus skenario D-2 dengan *basic plant*

4.4.3. Skenario D-3

Pada skenario ini dilakukan optimisasi penempatan DG pada sistem distribusi radial 33 bus standar IEEE menggunakan algoritma genetika dengan pembobotan multiobjektif rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif DG 0,8. Pembobotan ini berarti solusi *fitness* yang diperoleh dari optimisasi algoritma genetika memiliki prioritas minimisasi rugi daya yaitu sebesar 0,2 dan meningkatkan keluaran daya aktif sebesar 0,8. Untuk memperoleh hasil yang paling optimal pada pembobotan tersebut, terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu jumlah unit DG dan batasan daya keluarannya. Jumlah unit DG yang digunakan pada skenario ini yaitu 2 unit dengan dua metode batasan keluaran daya aktif yaitu *rule of thumb* dengan keluaran daya aktif maksimal 2,476 MW dan *max demand* dengan keluaran daya aktif maksimal 3,715 MW. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan setelah dilakukan optimisasi.

Tabel 4. 21. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-3) “*rule of thumb*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	215,04	-60,54	4,26	2,17
2	3	183,36	-67,8	16,58	8,45
3	4	131,36	-95,63	6,32	3,22
4	5	126,47	-100,26	6,1	3,1
5	6	125,14	-102,62	12,83	11,07
6	7	43,67	-103,91	0,36	1,18
7	8	43,88	-127,59	1,37	0,45
8	9	50,91	-147,72	2,67	1,92
9	10	54,37	-151,74	3,09	2,19
10	11	58,08	-155,24	0,66	0,22
11	12	60,59	-158,64	1,37	0,48

Tabel 4.21 Hasil simulasi aliran daya skenario (D-3) “*rule of thumb*” (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
12	13	64,33	-162,39	6,08	4,78
13	14	68,32	-165,66	2,53	3,33
14	15	22,59	-15,59	0,3	0,27
15	16	17,85	-18,02	0,24	0,17
16	17	12,84	-18,99	0,21	0,28
17	18	7,83	-21,15	0,04	0,04
2	19	31,28	-23,98	0,16	0,15
19	20	23,49	-24	0,83	0,75
20	21	15,66	-24,01	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,02	0,04	0,06
3	23	83,15	-25,59	3,12	2,13
23	24	74,94	-25,24	5,04	3,98
24	25	37,53	-25,27	1,26	1
6	26	81,19	-105,5	1,34	0,68
26	27	80,84	-109,18	1,86	0,95
27	28	80,84	-112,88	6,92	6,1
28	29	81,58	-116,43	5,35	4,66
29	30	82,08	-124,27	3,42	1,74
30	31	67,69	-162,52	4,47	4,41
31	32	24,42	-24,37	0,19	0,22
32	33	5,79	-30,66	0,01	0,02
Total Losses				99,12	70,29

Dapat dilihat pada tabel 4.21 bahwa total rugi daya pada metode *rule of thumb* dengan pembobotan rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif 0,8 didapatkan 99,12 kW. Hasil yang didapatkan ini merupakan rugi daya terbesar dibandingkan skenario C-1 dan C-2. Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa apabila hasil optimisasi ingin memprioritaskan salah satu fungsi objektif, maka pembobotan lebih diberatkan kepada fungsi objektif tersebut. Dikarenakan pembobotan lebih condong ke keluaran daya aktif (0,8) dibanding rugi daya (0,2), maka didapatkan rugi daya terbesar tetapi juga keluaran daya aktif terbesar yang dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4. 22. Solusi optimisasi skenario (D-3) “*rule of thumb*”

Unit DG	Lokasi	Daya Keluaran (MW)
1	31	1,2375
2	14	1,2375
Total Daya Keluaran		2,475

Penempatan 2 DG metode *rule of thumb* dengan pembobotan rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif 0,8 ini menghasilkan total daya keluaran maksimal dari batasan yaitu 2,475 MW. Sedangkan untuk hasil simulasi dengan metode *max demand* dapat dilihat pada tabel 4.23.

Tabel 4. 23. Hasil simulasi aliran daya skenario (D-3) “*max demand*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	188,31	-87,23	3,27	1,67
2	3	172,84	-99,11	14,73	7,5
3	4	135,99	-73,86	6,77	3,45
4	5	127,54	-77,23	6,2	3,16
5	6	124,28	-79,16	12,65	10,92
6	7	74,03	-143,37	1,03	3,39
7	8	84,06	-154,24	5,03	1,66
8	9	96,42	-162,5	9,57	6,88
9	10	100,64	-164,1	10,57	7,5

Tabel 4.23 Hasil simulasi aliran daya skenario (D-3) “*max demand*” (lanjutan)

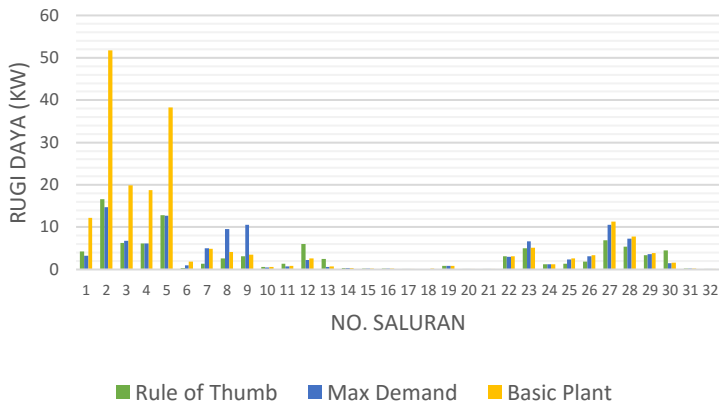
Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
10	11	49,32	-23,51	0,48	0,16
11	12	45,08	-22,79	0,76	0,26
12	13	39,6	-22,11	2,3	1,81
13	14	34,09	-21,19	0,63	0,83
14	15	22,83	-16,12	0,31	0,27
15	16	18,04	-18,55	0,24	0,18
16	17	12,98	-19,51	0,22	0,29
17	18	7,91	-21,68	0,05	0,04
2	19	31,26	-23,96	0,16	0,15
19	20	23,47	-23,98	0,83	0,75
20	21	15,65	-23,99	0,1	0,12
21	22	7,83	-24	0,04	0,06
3	23	81,2	-152,95	2,97	2,03
23	24	86,08	-157,42	6,65	5,25
24	25	36,77	-24,45	1,21	0,96
6	26	109,13	-44,43	2,42	1,23
26	27	104,34	-45,56	3,09	1,58
27	28	99,58	-46,81	10,5	9,26
28	29	95,13	-48,35	7,28	6,34
29	30	84,45	-50,95	3,62	1,84
30	31	38,97	-25,06	1,48	1,46
31	32	25,25	-25,91	0,2	0,23
32	33	5,99	-32,2	0,01	0,02
Total Losses				115,37	81,25

Dari tabel 4.23 dapat diketahui bahwa metode *max demand* pada skenario D-3 ini dapat menurunkan rugi daya saluran dengan total rugi daya 115,37 kW dikarenakan dilakukan pemasangan 2 DG dengan lokasi berbeda dan dengan keluaran daya maksimal dari batasan yaitu 3,715 MW. Pemasangan 2 DG tersebut dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4. 24. Solusi optimisasi skenario (D-3) “*max demand*”

Unit DG	Lokasi	Daya Keluaran (MW)
1	24	1,8575
2	10	1,8575
Total Daya Keluaran		3,715

Dari tabel hasil simulasi aliran daya dari tiap metode di atas, didapatkan bahwa terjadi penurunan rugi daya yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan basic plant yaitu sebesar 51,10% pada metode *rule of thumb* dengan rugi daya 99,12 kW dan 43,08% pada *max demand* dengan rugi daya 115,37 kW. Untuk keluaran daya aktif DG, keluaran daya aktif DG pada metode *rule of thumb* sebesar 2,475 MW dari keluaran daya maksimalnya yaitu 2,475 MW. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya aktif maksimalnya yaitu sebesar 3,715 MW dari keluaran daya aktif maksimalnya yaitu 3,715 MW. Dari hasil di atas diketahui bahwa penempatan 2 DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus lebih efisien menggunakan metode batasan keluaran daya *rule of thumb* dibandingkan dengan *max demand* apabila ditinjau dari rugi daya yang dapat diturunkan dan daya yang dibangkitkan oleh DG. Hal ini dikarenakan pada metode *rule of thumb* dengan keluaran daya 2,475 MW dapat menurunkan rugi daya aktif saluran sampai dengan 55,97%, sedangkan pada metode *max demand* didapatkan daya keluaran yang maksimal yaitu sebesar 3,715 MW tetapi rugi daya yang diturunkan hanya sebesar 43,08%.



Gambar 4. 11. Grafik perbandingan rugi daya skenario D-3 dengan *basic plant*

Dari gambar 4.11 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif yang signifikan dari kedua metode bila dibandingkan dengan *basic plant*. Tetapi pada saluran 7 sampai 9, rugi daya yang terjadi pada metode *max demand* lebih besar dibanding *basic plant*.

Ditinjau dari profil tegangan bus, penempatan 2 DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dapat memperbaiki profil tegangan sehingga tegangan masih di dalam *constraint* yang ditentukan yaitu 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Berikut ini tabel 4.25 adalah profil tegangan tiap bus skenario C-3.

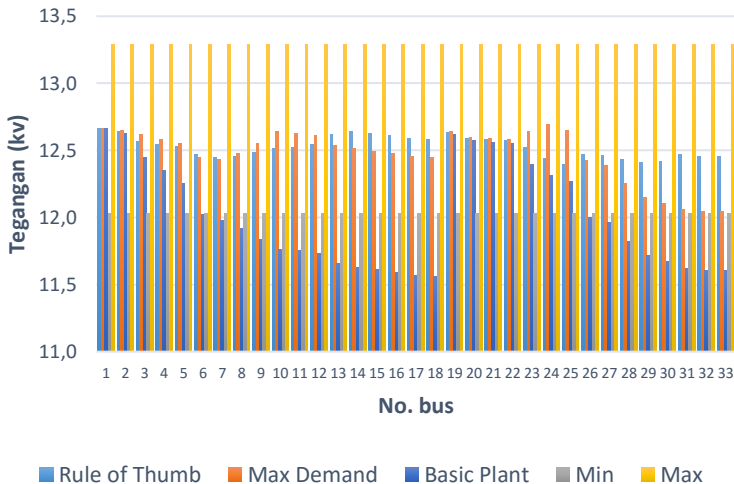
Tabel 4. 25. Perbandingan rofil tegangan bus skenario (D-3)

No	<i>Rule of Thumb</i>	<i>Max Demand</i>	<i>Basic Plant</i>
1	12,66	12,66	12,660
2	12,6415	12,6503	12,622
3	12,5649	12,6214	12,444
4	12,5457	12,5836	12,349
5	12,5307	12,5493	12,256
6	12,4691	12,4454	12,023
7	12,4452	12,4303	11,979

Tabel 4.25 Perbandingan rofil tegangan bus skenario (D-3) (lanjutan)

No	<i>Rule of Thumb</i>	<i>Max Demand</i>	<i>Basic Plant</i>
8	12,4569	12,4768	11,917
9	12,4829	12,5532	11,838
10	12,516	12,6379	11,764
11	12,5251	12,6277	11,753
12	12,5439	12,61	11,734
13	12,6157	12,5381	11,657
14	12,6422	12,5114	11,628
15	12,6258	12,4948	11,610
16	12,6099	12,4787	11,593
17	12,5863	12,4549	11,567
18	12,5792	12,4478	11,560
19	12,6348	12,6437	12,616
20	12,5896	12,5985	12,570
21	12,5806	12,5896	12,562
22	12,5726	12,5815	12,554
23	12,5199	12,643	12,399
24	12,4363	12,6922	12,314
25	12,3945	12,6513	12,272
26	12,4659	12,4219	11,998
27	12,463	12,3906	11,966
28	12,4302	12,251	11,821
29	12,4116	12,1507	11,717
30	12,4196	12,1073	11,672
31	12,467	12,0565	11,619
32	12,4562	12,0454	11,608
33	12,4529	12,0419	11,604

Terlihat dari grafik perbandingan tegangan skenario D-3 dengan *basic plant* pada gambar 4.10 bahwa kedua metode telah mampu memperbaiki profil tegangan bus, walaupun pada metode *max demand* pada bus 31 sampai 33 berada pada kondisi kritis karena nilainya nyaris mendekati 0,95 pu.



Gambar 4. 12. Grafik perbandingan profil tegangan bus skenario D-3 dengan *basic plant*

4.4.4. Analisis Keseluruhan Skenario D

Setelah dilakukan simulasi penempatan 2 DG dengan beberapa skenario di atas dan didapatkan hasil, maka dapat dilakukan perbandingan untuk menentukan skenario yang paling optimum dan efisien dari penempatan 2 DG. Berikut ini adalah tabel perbandingan hasil optimisasi penempatan DG dari setiap skenario.

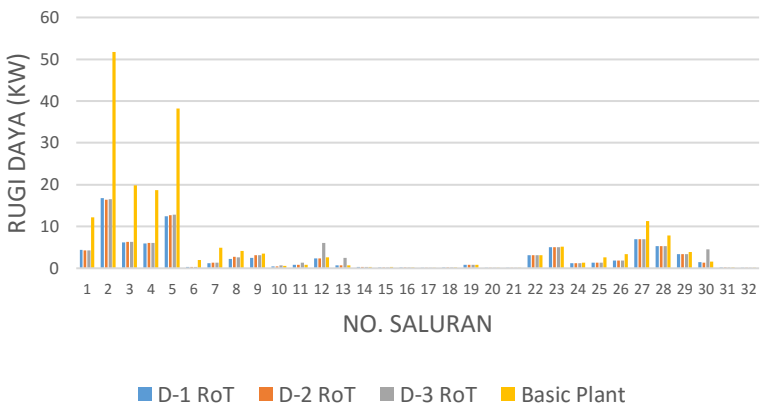
Tabel 4. 26. Perbandingan keseluruhan skenario D

NO	Skenario	Keluaran DG (MW)	Σ Rugi Daya (kW)	Profil Tegangan Bus
1	<i>Basic plant</i>	-	202,7	<i>Under voltage</i>
2	D-1 <i>Rule of thumb</i>	2,3986	88,09	Normal
3	D-1 <i>Max demand</i>	3,715	99,96	Normal
4	D-2 <i>Rule of thumb</i>	2,475	89,24	Normal
5	D-2 <i>Max demand</i>	3,715	101,64	Normal
6	D-3 <i>Rule of thumb</i>	2,475	99,12	Normal
7	D-3 <i>Max demand</i>	3,715	115,37	Normal

Diketahui dari tabel di atas, bahwa keseluruhan skenario telah mampu menurunkan rugi daya aktif saluran cukup signifikan apabila dibandingkan dengan basic plant. Profil tegangan bus juga telah memenuhi kriteria *constraint* yang telah ditentukan sehingga tidak terjadi *undervoltage* maupun *overvoltage*. Apabila hanya ditinjau dari keluaran daya aktif DG, maka metode pembatasan keluaran daya *max demand* merupakan metode yang paling optimum karena di setiap skenario didapatkan keluaran daya aktif DG paling maksimal, daya keluarannya 100% dari batas maksimalnya. Sedangkan apabila ditinjau dari kedua fungsi objektif, yakni rugi daya aktif saluran dan keluaran daya aktif DG, maka metode pembatasan keluaran daya *rule of thumb* merupakan metode yang paling optimum karena dengan pembangkitan daya DG yang lebih kecil dari metode *max demand* tetapi rugi daya yang dihasilkan jauh lebih minimal. Metode *rule of thumb* menjadi optimal dikarenakan apabila suatu sistem diinjek daya aktif dari DG maka rugi daya total saluran akan turun sampai dengan titik tertentu, kemudian rugi daya kembali naik apabila injek daya tetap dilakukan. Hal inilah yang terjadi pada metode *max demand*.

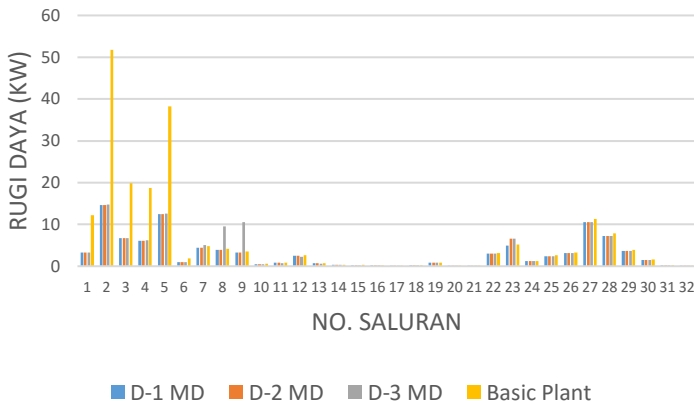
Ditinjau dari pembobotan, hasil yang didapatkan sesuai dengan nilai pembobotan antara rugi daya aktif saluran dengan keluaran daya

aktif DG. Ketika pembobotan rugi daya saluran (0,8), yang artinya multiobjektif lebih condong untuk meminimasi rugi daya saluran dibandingkan meningkatkan keluaran daya aktif DG (0,2), maka didapatkan hasil simulasi rugi dayanya juga yang paling minimal. Lain halnya ketika pembobotan lebih condong untuk meningkatkan keluaran daya aktif (0,8) dan kurang memperhatikan rugi daya (0,2). Maka didapatkan hasil keluaran daya yang maksimal tetapi rugi daya yang terjadi besar. Sehingga dapat disimpulkan apabila diinginkan keadaan untuk meminimalkan salah satu fungsi objektif maka untuk nilai pembobotan lebih diberatkan pada fungsi objektif tersebut. Berikut ini analisis perbandingan keseluruhan skenario dalam grafik pada gambar 4.13 untuk metode *rule of thumb*.



Gambar 4. 13. Grafik perbandingan rugi daya *rule of thumb* tiap pembobotan

Pada gambar 4.14 merupakan grafik perbandingan rugi daya dengan batasan keluaran daya *max demand* dari tiap pembobotan.



Gambar 4. 14. Grafik perbandingan rugi daya *max demand* tiap pembobotan

4.5. Simulasi Skenario E

Pada skenario ini, dilakukan optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus menggunakan algoritma genetika dengan beberapa pembobotan yang berbeda berdasarkan fungsi multi objektif rugi daya saluran dan keluaran daya aktif DG. Pembatasan keluaran daya aktif DG berdasarkan metode *rule of thumb* dan *max demand*. Skenario yang dilakukan yaitu:

- Skenario E-1
 1. Skenario (E-1) pembobotan rugi daya 0,8 dan keluaran daya aktif DG 0,2 metode *rule of thumb*.
 2. Skenario (E-1) pembobotan rugi daya 0,8 dan keluaran daya aktif DG 0,2 metode *max demand*.
- Skenario E-2
 1. Skenario (E-2) pembobotan rugi daya 0,5 dan keluaran daya aktif DG 0,5 metode *rule of thumb*.
 2. Skenario (E-2) pembobotan rugi daya 0,5 dan keluaran daya aktif DG 0,5 metode *max demand*.
- Skenario D-3

1. Skenario (E-3) pembobotan rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif DG 0,8 metode *rule of thumb*.
2. Skenario (E-3) pembobotan rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif DG 0,8 metode *max demand*.

4.5.1. Skenario E-1

Pada skenario ini dilakukan optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus standar menggunakan algoritma genetika dengan pembobotan multiobjektif rugi daya 0,8 dan keluaran daya aktif DG 0,2. Pembobotan ini berarti solusi *fitness* yang diperoleh dari optimisasi algoritma genetika memiliki prioritas minimisasi rugi daya yaitu sebesar 0,8 dan meningkatkan keluaran daya aktif sebesar 0,2. Untuk memperoleh hasil yang paling optimal pada pembobotan tersebut, terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu jumlah unit DG, unit kapasitor, dan batasan daya keluarannya. Jumlah unit DG dan kapasitor yang digunakan pada skenario ini yaitu masing-masing 2 unit dengan dua metode batasan keluaran daya yaitu *rule of thumb* dengan batasan keluaran daya aktif maksimal DG 2,476 MW dan batasan keluaran daya reaktif kapasitor 1,533 MVAR. Sedangkan untuk metode *max demand*, batasan keluaran daya aktif maksimal DG yaitu 3,715 MW dan batasan keluaran daya reaktif maksimal kapasitor yaitu 2,3 MVAR. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan setelah dilakukan optimisasi.

Tabel 4. 27. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-1) *rule of thumb*

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	132,44	-30,52	1,62	0,82
2	3	92,21	-32,67	4,19	2,14
3	4	11,13	-111,7	0,05	0,02
4	5	14,22	-163,7	0,08	0,04
5	6	18,49	-175	0,28	0,24

Tabel 4.27 Hasil simulasi aliran daya skenario (E-1) *rule of thumb* (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
6	7	17,47	97,72	0,06	0,19
7	8	31,09	125,84	0,69	0,23
8	9	47,47	135,8	2,32	1,67
9	10	45,18	-149	2,13	1,51
10	11	48,97	-25,8	0,47	0,16
11	12	44,76	-25,08	0,75	0,25
12	13	39,31	-24,39	2,27	1,79
13	14	33,84	-23,47	0,62	0,82
14	15	22,67	-18,4	0,3	0,27
15	16	17,91	-20,83	0,24	0,17
16	17	12,88	-21,79	0,21	0,29
17	18	7,86	-23,96	0,05	0,04
2	19	31,27	-24,03	0,16	0,15
19	20	23,48	-24,06	0,83	0,75
20	21	15,66	-24,07	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,08	0,04	0,06
3	23	82,94	-25,92	3,1	2,12
23	24	74,75	-25,57	5,02	3,96
24	25	37,44	-25,6	1,26	0,98
6	26	27,12	-140,2	0,15	0,08
26	27	29,87	-149	0,25	0,13
27	28	33,19	-156,1	1,17	1,03
28	29	37,06	-161,3	1,1	0,96
29	30	45,1	-171,8	1,03	0,53

Tabel 4.27 Hasil simulasi aliran daya skenario (E-1) *rule of thumb* (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
30	31	37,19	-26,04	1,35	1,33
31	32	24,1	-26,89	0,18	0,21
32	33	5,71	-33,18	0,01	0,02
Total Losses				32,08	23,08

Pada tabel 4.27 di atas terlihat bahwa didapatkan rugi daya total sebesar 32,08 kW. Rugi daya ini merupakan rugi daya terkecil dibanding seluruh skenario. Hal ini dikarenakan dilakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan 2 DG untuk menyuplai daya aktif, dan pemasangan 2 kapasitor untuk menyuplai daya reaktif secara simultan. Solusi yang didapatkan dari optimisasi menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4. 28. Solusi optimisasi skenario (E-1) *rule of thumb*

Unit	Lokasi	Daya Keluaran	Total
DG	10	1,114	2,302 MW
	30	1,188	
Kapasitor	30	0,736	1,472 MVAR
	9	0,736	
Rekonfigurasi Jaringan			
Sending Bus	Receiving Bus		
19	20		
12	22		
13	14		
32	33		
26	27		

Pada tabel 4.29 di bawah ini merupakan hasil dari simulasi aliran daya skenario (E-1) dengan metode *max demand*. Rugi daya saluran terbesar bukan lagi pada saluran 1 sampai 5, tetapi pada saluran 7,8, 23, dan 27. Hal ini dikarenakan setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, arus awal tidak mengalir pada saluran 1 sampai 5 tetapi telah berubah sesuai hasil rekonfigurasi jaringan.

Tabel 4. 29. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-1) *max demand*

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	68,43	-69,7	0,43	0,22
2	3	48,42	-105,22	1,16	0,59
3	4	38,79	-10,96	0,55	0,28
4	5	28,59	-2,13	0,31	0,16
5	6	23,85	3,14	0,47	0,4
6	7	55,66	-171,2	0,58	1,92
7	8	70,53	-0,16	3,55	1,17
8	9	55,14	8,07	3,13	2,25
9	10	50,67	10,63	2,68	1,9
10	11	46,31	13,72	0,42	0,14
11	12	43,51	17,95	0,71	0,23
12	13	40,14	-25,08	2,37	1,86
13	14	34,56	-24,16	0,65	0,85
14	15	23,15	-19,09	0,32	0,28
15	16	18,29	-21,52	0,25	0,18
16	17	13,16	-22,48	0,22	0,3
17	18	8,02	-24,65	0,05	0,04
2	19	31,25	-24,02	0,16	0,15

Tabel 4.29 Hasil simulasi aliran daya skenario (E-1) *max demand* (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
19	20	23,46	-24,04	0,83	0,75
20	21	15,65	-24,05	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,06	0,04	0,06
3	23	68,3	-147,99	2,1	1,44
23	24	72,62	-153,6	4,74	3,74
24	25	36,75	-24,87	1,21	0,95
6	26	74,93	8,76	1,14	0,58
26	27	70,57	10,94	1,42	0,72
27	28	66,33	13,42	4,66	4,11
28	29	62,12	15,91	3,1	2,7
29	30	55,11	24,38	1,54	0,79
30	31	37,85	-27,47	1,4	1,38
31	32	24,52	-28,32	0,19	0,22
32	33	5,82	-34,6	0,01	0,02
Total Losses				40,49	30,5

Optimisasi menggunakan algoritma genetika pada skenario E-1 metode *max demand* menghasilkan solusi pada tabel 4.30 berikut ini.

Tabel 4. 30. Solusi optimisasi skenario E-1 “*max demand*”

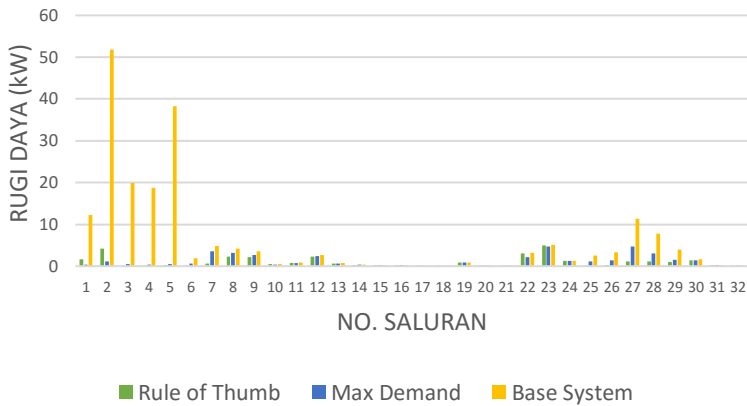
Unit	Lokasi	Daya Keluaran	Total
DG	24	1,672	3,455 MW
	7	1,783	
Kapasitor	30	1,104	1,518 MVAR
	12	0,414	

Tabel 4.30 Solusi optimisasi skenario E-1 “*max demand*”(lanjutan)

Rekonfigurasi Jaringan	
Sending Bus	Receiving Bus
2	19
11	12
9	15
18	33
26	27

Dari tabel hasil simulasi aliran daya metode *rule of thumb* dan *max demand* di atas, didapatkan bahwa terjadi penurunan rugi daya yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan *basic plant* yaitu sebesar 84,17% pada metode *rule of thumb* dengan rugi daya 32,08 kW dan 80,02% pada *max demand* dengan rugi daya 40,49 kW. Untuk keluaran daya aktif DG, keluaran daya aktif DG pada metode *rule of thumb* sebesar 2,302 MW dari keluaran daya maksimalnya yaitu 2,475 MW. Hal ini berarti keluaran dayanya sebesar 93,01% dari maksimal. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya aktifnya sebesar 3,455 MW dari keluaran daya aktif maksimalnya 3,715 MW. Hal ini berarti keluaran dayanya sebesar 93% dari maksimal. Untuk keluaran daya reaktif kapasitor, keluaran daya reaktif kapasitor pada metode *rule of thumb* sebesar 1,472 MVAR dari keluaran daya reaktif maksimalnya yaitu 1,533 MVAR. Hal ini berarti keluaran daya reaktifnya sebesar 96,02% dari batasan maksimal. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya reaktifnya sebesar 1,518 MVAR dari keluaran daya reaktif maksimalnya yaitu 2,3 MVAR. Hal ini berarti keluaran daya reaktifnya sebesar 99,02% dari batasan maksimal. Dari hasil di atas diketahui bahwa optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus lebih efisien menggunakan metode batasan keluaran daya *rule of thumb* dibandingkan dengan *max demand* apabila ditinjau dari rugi daya yang dapat diturunkan dan daya yang dibangkitka

n oleh DG. Hal ini dikarenakan pada metode *rule of thumb* dengan keluaran daya 2,302 MW dapat menurunkan rugi daya aktif saluran sampai dengan 84,17%, sedangkan pada metode *max demand* didapatkan daya keluaran yang maksimal yaitu sebesar 3,455 MW tetapi rugi daya yang diturunkan lebih rendah yaitu sebesar 80,02%.



Gambar 4. 15. Grafik perbandingan rugi daya skenario E-1 dengan *basic plant*

Dari gambar 4.15 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif yang signifikan dari kedua metode bila dibandingkan dengan *basic plant*. Optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor dapat menurunkan rugi daya pada seluruh saluran, terutama rugi daya pada bus 1 sampai dengan 5 yang setelah dilakukan optimisasi, rugi daya pada saluran tersebut besarnya tidak berbeda jauh dengan saluran lainnya.

Ditinjau dari profil tegangan bus, optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor pada sistem distribusi IEEE 33 bus dapat memperbaiki profil tegangan sehingga tidak ada tegangan yang *undervoltage* maupun *overvoltage* dari *constraint* yang telah ditentukan yaitu 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Berikut ini adalah tabel tegangan tiap bus dan perbandingannya dengan *basic plant* pada tabel 4.30.

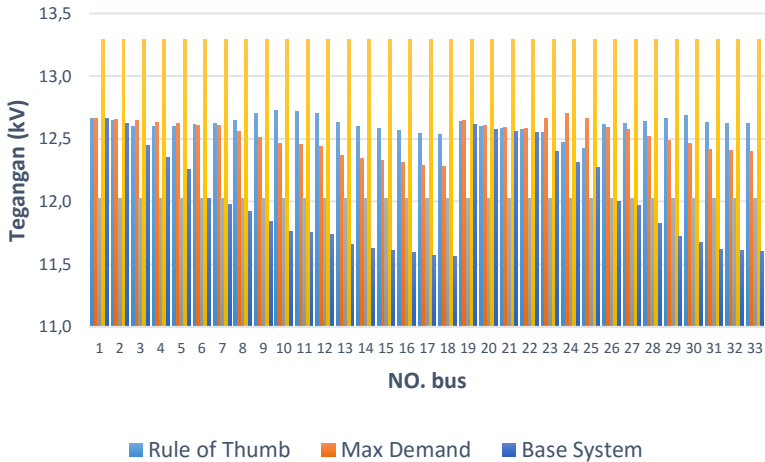
Tabel 4. 31. Perbandingan profil tegangan bus skenario (E-1)

No	<i>Rule of Thumb</i>	<i>Max Demand</i>	<i>Basic Plant</i>
1	12,660	12,660	12,660
2	12,646	12,655	12,622
3	12,596	12,649	12,444
4	12,595	12,634	12,349
5	12,600	12,623	12,256
6	12,614	12,604	12,023
7	12,625	12,609	11,979
8	12,644	12,559	11,917
9	12,703	12,508	11,838
10	12,726	12,464	11,764
11	12,716	12,455	11,753
12	12,699	12,442	11,734
13	12,628	12,369	11,657
14	12,601	12,342	11,628
15	12,585	12,325	11,610
16	12,569	12,309	11,593
17	12,545	12,284	11,567
18	12,538	12,277	11,560
19	12,640	12,648	12,616
20	12,594	12,603	12,570
21	12,586	12,594	12,562
22	12,577	12,586	12,554
23	12,551	12,664	12,399
24	12,467	12,701	12,314
25	12,426	12,660	12,272

Tabel 4.31 Perbandingan rofil tegangan bus skenario (E-1) (lanjutan)

No	Rule of Thumb	Max Demand	Basic Plant
26	12,616	12,590	11,998
27	12,621	12,573	11,966
28	12,641	12,519	11,821
29	12,661	12,484	11,717
30	12,682	12,464	11,672
31	12,634	12,415	11,619
32	12,623	12,404	11,608
33	12,620	12,401	11,604

Data dari tabel 4.31 apabila ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan profil tegangan bus tiap metode dengan *basic plant* maka dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut ini.



Gambar 4. 16. Perbandingan profil tegangan bus skenario E-1

4.5.2. Skenario E-2

Pada skenario ini dilakukan optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus standar menggunakan algoritma genetika dengan pembobotan multiobjektif rugi daya 0,5 dan keluaran daya aktif DG 0,5. Pembobotan ini berarti solusi *fitness* yang diperoleh dari optimisasi algoritma genetika memiliki prioritas yang seimbang, minimisasi rugi daya sebesar 0,5 dan meningkatkan keluaran daya aktif sebesar 0,5. Untuk memperoleh hasil yang paling optimal pada pembobotan tersebut, terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu jumlah unit DG, unit kapasitor, dan batasan daya keluarannya. Jumlah unit DG dan kapasitor yang digunakan pada skenario ini yaitu masing-masing 2 unit dengan dua metode batasan keluaran daya yaitu *rule of thumb* dengan batasan keluaran daya aktif maksimal DG 2,476 MW dan batasan keluaran daya reaktif kapasitor 1,533 MVAR. Sedangkan untuk metode *max demand*, batasan keluaran daya aktif maksimal DG yaitu 3,715 MW dan batasan keluaran daya reaktif maksimal kapasitor yaitu 2,3 MVAR. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan setelah dilakukan optimisasi.

Tabel 4. 32. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) “*rule of thumb*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	127,65	-31,88	1,5	0,77
2	3	87,57	-34,77	3,78	1,93
3	4	14,38	-132,92	0,08	0,04
4	5	19,77	-167,76	0,15	0,08
5	6	24,15	-175,68	0,48	0,41
6	7	19,05	115,33	0,07	0,22
7	8	34,72	133,74	0,86	0,28
8	9	51,68	140,39	2,75	1,98
9	10	50,17	-152,32	2,63	1,86

Tabel 4.32 Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) “*rule of thumb*” (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
10	11	48,86	-25,7	0,47	0,16
11	12	44,66	-24,98	0,75	0,25
12	13	39,22	-24,29	2,26	1,78
13	14	33,77	-23,37	0,62	0,81
14	15	22,61	-18,3	0,3	0,27
15	16	17,87	-20,73	0,24	0,17
16	17	12,85	-21,7	0,21	0,28
17	18	7,84	-23,86	0,04	0,04
2	19	31,27	-24,03	0,16	0,15
19	20	23,48	-24,05	0,83	0,75
20	21	15,66	-24,06	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,07	0,04	0,06
3	23	82,92	-25,91	3,1	2,12
23	24	74,73	-25,57	5,01	3,96
24	25	37,43	-25,59	1,26	0,98
6	26	27,08	-139,82	0,15	0,08
26	27	29,8	-148,64	0,25	0,13
27	28	33,1	-155,84	1,16	1,02
28	29	36,96	-161,05	1,1	0,96
29	30	44,97	-171,59	1,03	0,52
30	31	52,98	51,68	2,74	2,7
31	32	23,97	-27,11	0,18	0,21
32	33	5,68	-33,4	0,01	0,02
Total Losses				34,31	25,11

Tabel 4.32 di atas menampilkan hasil dari simulasi aliran daya skenario (E-2) metode *rule of thumb* dengan total rugi daya saluran sebesar 34,31 kW. Sedangkan untuk solusi hasil optimisasi algoritma genetika pada skenario ini dapat dilihat pada tabel 4.33.

Tabel 4.33. Solusi optimisasi skenario (E-2) “*rule of thumb*”

Unit	Lokasi	Daya Keluaran	Total
DG	10	1,188	2,376 MW
	30	1,188	
Kapasitor	31	0,736	1,472 MVAR
	9	0,736	
Rekonfigurasi Jaringan			
Sending Bus		Receiving Bus	
19		20	
12		22	
9		15	
31		32	
27		28	

Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) metode *max demand* dapat dilihat pada tabel 4.34 berikut.

Tabel 4.34. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) “*max demand*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	65,95	-76,86	0,4	0,2
2	3	51,45	-114,64	1,3	0,66
3	4	38,77	-10,95	0,55	0,28
4	5	28,58	-2,12	0,31	0,16
5	6	23,84	3,15	0,47	0,4
6	7	55,63	-171,19	0,58	1,92

Tabel 4.34 Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) “*max demand*” (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
7	8	70,5	-0,14	3,55	1,17
8	9	55,11	8,08	3,13	2,25
9	10	50,65	10,65	2,68	1,9
10	11	46,29	13,73	0,42	0,14
11	12	43,5	17,97	0,71	0,23
12	13	40,13	-25,07	2,36	1,86
13	14	34,54	-24,15	0,65	0,85
14	15	23,14	-19,08	0,32	0,28
15	16	18,28	-21,5	0,25	0,18
16	17	13,15	-22,47	0,22	0,3
17	18	8,02	-24,63	0,05	0,04
2	19	31,25	-24,01	0,16	0,15
19	20	23,46	-24,04	0,83	0,75
20	21	15,64	-24,05	0,1	0,12
21	22	7,82	-24,06	0,04	0,06
3	23	75,86	-151,45	2,6	1,77
23	24	74,01	-25,25	4,92	3,88
24	25	37,07	-25,27	1,23	0,96
6	26	74,9	8,77	1,14	0,58
26	27	70,54	10,95	1,41	0,72
27	28	66,3	13,43	4,66	4,1
28	29	62,09	15,92	3,1	2,7

Tabel 4.34 Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) “*max demand*” (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
29	30	55,09	24,39	1,54	0,78
30	31	37,83	-27,45	1,39	1,38
31	32	24,51	-28,3	0,19	0,22
32	33	5,81	-34,59	0,01	0,02
Total Losses				41,27	31,01

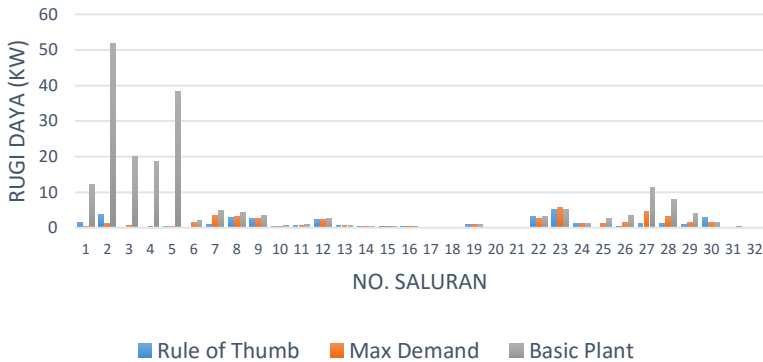
Hasil simulasi aliran daya skenario (E-2) metode *max demand* di atas didapatkan setelah pada sistem diterapkan solusi optimisasi pada tabel 4.35.

Tabel 4. 35. Solusi optimisasi skenario E-2 “*max demand*”

Unit	Lokasi	Daya Keluaran	Total
DG	23	1,783	3,566 MW
	7	1,783	
Kapasitor	30	1,104	1,518 MVAR
	12	0,414	
Rekonfigurasi Jaringan			
Sending Bus		Receiving Bus	
2		19	
21		22	
13		14	
31		32	
27		28	

Dari tabel di atas, didapatkan bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif saluran yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan basic plant

yaitu sebesar 83,07% pada metode *rule of thumb* dengan rugi daya 34,31 kW dan 79,63% pada *max demand* dengan rugi daya 41,27 kW. Untuk keluaran daya aktif DG, keluaran daya aktif DG pada metode *rule of thumb* sebesar 2,376 MW dari keluaran daya maksimalnya yaitu 2,475 MW. Hal ini berarti keluaran dayanya sebesar 93,01% dari maksimal. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya aktifnya sebesar 3,566 MW dari keluaran daya aktif maksimalnya 3,715 MW. Hal ini berarti keluaran dayanya sebesar 93% dari maksimal. Untuk keluaran daya reaktif kapasitor, keluaran daya reaktif kapasitor pada metode *rule of thumb* sebesar 1,472 MVAR dari keluaran daya reaktif maksimalnya yaitu 1,533 MVAR atau 99,02% dari batasan maksimal. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya reaktifnya sebesar 1,518 MVAR dari keluaran daya reaktif maksimalnya yaitu 2,3 MVAR atau 99,02% dari batasan maksimal. Dari hasil di atas diketahui bahwa optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus lebih efisien menggunakan metode batasan keluaran daya *rule of thumb* dibandingkan dengan *max demand* apabila ditinjau dari rugi daya yang dapat diturunkan dan daya yang dibangkitkan oleh DG. Hal ini dikarenakan pada metode *rule of thumb* dengan keluaran daya 2,376 MW dapat menurunkan rugi daya aktif saluran sampai dengan 83,07%, sedangkan pada metode *max demand* didapatkan daya keluaran yang maksimal yaitu sebesar 3,566 MW tetapi rugi daya yang diturunkan lebih rendah yaitu sebesar 79,63%.



Gambar 4. 17. Perbandingan rugi daya skenario E-2 dengan *basic plant*

Dari gambar 4.17 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif yang signifikan dari kedua metode bila dibandingkan dengan *basic plant*. Optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor dapat menurunkan rugi daya pada seluruh saluran, terutama rugi daya pada bus 1 sampai dengan 5 yang setelah dilakukan optimisasi, rugi daya pada saluran tersebut besarnya tidak berbeda jauh dengan saluran lainnya.

Ditinjau dari profil tegangan bus, optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara simultan pada sistem distribusi IEEE 33 bus dapat memperbaiki profil tegangan sehingga tidak ada tegangan yang *undervoltage* maupun *overvoltage* dari *constraint* yang telah ditentukan yaitu 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Berikut ini adalah tabel tegangan tiap bus dan grafik perbandingan profil tegangan bus skenario E-2 dengan *basic plant*.

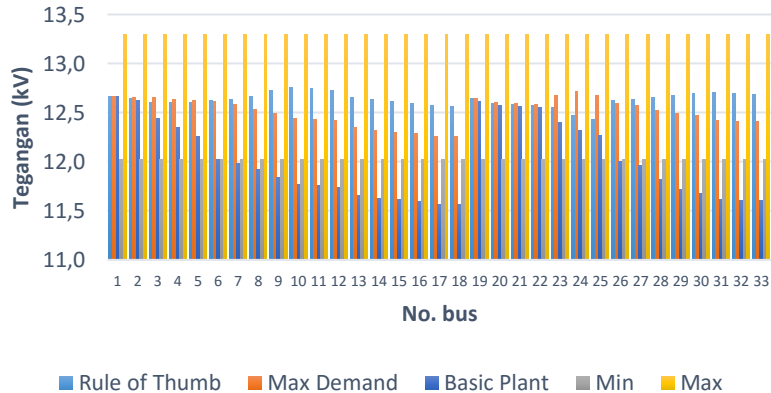
Tabel 4. 36. Profil tegangan bus skenario (E-2)

No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
1	12,660	12,66	12,660
2	12,647	12,655	12,622
3	12,599	12,654	12,444
4	12,600	12,638	12,349
5	12,607	12,627	12,256
6	12,626	12,608	12,023
7	12,638	12,587	11,979
8	12,661	12,536	11,917
9	12,726	12,486	11,838
10	12,755	12,441	11,764
11	12,745	12,433	11,753
12	12,728	12,419	11,734
13	12,657	12,346	11,657
14	12,630	12,319	11,628
15	12,614	12,302	11,610
16	12,598	12,286	11,593
17	12,574	12,261	11,567
18	12,567	12,254	11,560
19	12,640	12,648	12,616
20	12,595	12,603	12,570
21	12,586	12,594	12,562
22	12,578	12,586	12,554
23	12,554	12,673	12,399
24	12,471	12,717	12,314
25	12,429	12,676	12,272

Tabel 4.36 Perbandingan rofil tegangan bus skenario (E-2) (lanjutan)

No	Rule of Thumb (kV)	Max Demand (kV)	Basic Plant (kV)
26	12,628	12,595	11,998
27	12,633	12,577	11,966
28	12,653	12,523	11,821
29	12,673	12,488	11,717
30	12,694	12,468	11,672
31	12,701	12,4197	11,619
32	12,690	12,408	11,608
33	12,687	12,405	11,604

Terlihat dari tabel 4.36 di atas bahwa kedua metode mampu memperbaiki profil tegangan sehingga *undervoltage* tidak terjadi. Akan tetapi pada metode *rule of thumb* terdapat tegangan yang melebihi 1 pu yaitu pada bus 29 sampai 33 walaupun tidak sampai melewati *constraint* 1,05 pu yang telah ditentukan. Perbandingan profil tegangan ini apabila ditampilkan dalam bentuk grafik maka dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4. 18. Perbandingan profil tegangan skenario E-2 dengan *basic plant*

4.5.3. Skenario E-3

Pada skenario ini dilakukan optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus standar menggunakan algoritma genetika dengan pembobotan multiobjektif rugi daya 0,2 dan keluaran daya aktif DG 0,8. Pembobotan ini berarti solusi *fitness* yang diperoleh dari optimisasi algoritma genetika memiliki prioritas minimisasi rugi daya sebesar 0,2 dan meningkatkan keluaran daya aktif sebesar 0,8. Untuk memperoleh hasil yang paling optimal pada pembobotan tersebut, terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu jumlah unit DG, unit kapasitor, dan batasan daya keluarannya. Jumlah unit DG dan kapasitor yang digunakan pada skenario ini yaitu masing-masing 2 unit dengan dua metode batasan keluaran daya yaitu *rule of thumb* dengan batasan keluaran daya aktif maksimal DG 2,476 MW dan batasan keluaran daya reaktif kapasitor 1,533 MVAR. Sedangkan untuk metode *max demand*, batasan keluaran daya aktif maksimal DG yaitu 3,715 MW dan batasan keluaran daya reaktif maksimal kapasitor yaitu 2,3 MVAR. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan setelah dilakukan optimisasi.

Tabel 4. 37. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-3) “*rule of thumb*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	128,17	-31,92	1,51	0,77
2	3	88,09	-34,81	3,83	1,95
3	4	14,38	-130,84	0,08	0,04
4	5	19,47	-166,51	0,14	0,07
5	6	23,8	-174,77	0,46	0,4
6	7	18,57	114,71	0,06	0,21
7	8	34,2	133,67	0,84	0,27
8	9	51,17	140,42	2,7	1,94
9	10	50	-151,75	2,61	1,85
10	11	53,55	-155,59	0,56	0,19

Tabel 4.37 Hasil simulasi aliran daya skenario (E-3) “*rule of thumb*” (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
11	12	55,93	-159,27	1,17	0,39
12	13	59,53	-163,31	5,2	4,09
13	14	63,4	-166,83	2,18	2,87
14	15	22,19	-17,44	0,29	0,26
15	16	17,54	-19,87	0,23	0,17
16	17	12,61	-20,83	0,21	0,27
17	18	7,69	-23	0,04	0,03
2	19	31,27	-24,03	0,16	0,15
19	20	23,48	-24,05	0,83	0,75
20	21	15,66	-24,06	0,1	0,12
21	22	7,83	-24,07	0,04	0,06
3	23	82,92	-25,91	3,1	2,12
23	24	74,73	-25,57	5,02	3,96
24	25	37,43	-25,59	1,26	0,98
6	26	27,08	-139,82	0,15	0,08
26	27	29,8	-148,64	0,25	0,13
27	28	33,11	-155,84	1,16	1,02
28	29	36,97	-161,05	1,1	0,96
29	30	44,97	-171,59	1,03	0,52
30	31	52,99	51,68	2,74	2,7
31	32	23,97	-27,11	0,18	0,21
32	33	5,68	-33,4	0,01	0,02
Total Losses				39,24	29,55

Dari ketiga skenario pada sub bab ini, maka skenario (E-3) yang mempunyai rugi daya terbesar seperti terlihat pada tabel di atas. Hal ini dikarenakan pembobotan rugi daya hanya 0,2 sedangkan pembobotan keluaran daya aktif sebesar 0,8. Sehingga optimisasi lebih cenderung memprioritaskan meningkatkan daya aktif dibandingkan dengan minimisasi rugi daya. Solusi dari optimisasi skenario (E-3) *rule of thumb* ditampilkan pada tabel 4.38.

Tabel 4. 38. Solusi optimisasi skenario (E-3) “*rule of thumb*”

Unit	Lokasi	Daya Keluaran	Total
DG	14	1,188	2,376 MW
	30	1,188	
Kapasitor	31	0,736	1,472 MVAR
	9	0,736	
Rekonfigurasi Jaringan			
Sending Bus		Receiving Bus	
19		20	
11		12	
13		14	
30		31	
27		28	

Setelah dilakukan optimisasi menggunakan metode batasan keluaran daya *rule of thumb*, dilakukan juga optimisasi dengan metode *max demand* untuk mengetahui perbandingan metode yang paling optimal. Berikut ini adalah hasil simulasi aliran daya skenario (E-3) metode *max demand* pada tabel 4.39.

Tabel 4. 39. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-3) ”*max demand*”

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	66,25	-76,79	0,4	0,21
2	3	51,64	-114,36	1,31	0,67
3	4	38,89	-11,25	0,55	0,28
4	5	28,66	-2,55	0,31	0,16
5	6	23,9	2,61	0,47	0,4
6	7	86,95	-5,72	1,42	4,68
7	8	70,66	-0,54	3,57	1,17
8	9	55,24	7,68	3,14	2,26
9	10	50,76	10,24	2,69	1,91
10	11	46,4	13,33	0,42	0,14
11	12	43,59	17,56	0,71	0,24
12	13	40,22	-25,47	2,37	1,87
13	14	34,62	-24,55	0,65	0,85
14	15	23,19	-19,48	0,32	0,28
15	16	18,32	-21,9	0,25	0,18
16	17	13,18	-22,87	0,22	0,3
17	18	8,04	-25,03	0,05	0,04
2	19	31,25	-24,01	0,16	0,15
19	20	23,46	-24,04	0,83	0,75
20	21	15,64	-24,05	0,1	0,12
21	22	7,82	-24,06	0,04	0,06
3	23	75,83	-151,38	2,59	1,77
23	24	80,5	-156,26	5,82	4,6
24	25	36,7	-24,82	1,21	0,94
6	26	74,9	8,77	1,14	0,58

Tabel 4.39. Hasil simulasi aliran daya skenario (E-3) ”*max demand*” (lanjutan)

Sending Bus	Receiving Bus	Current		Losses	
		Amp	Degree	kW	kVAR
26	27	70,55	10,95	1,41	0,72
27	28	66,31	13,43	4,66	4,11
28	29	62,1	15,92	3,1	2,7
29	30	55,09	24,39	1,54	0,78
30	31	37,83	-27,45	1,39	1,38
31	32	24,51	-28,3	0,19	0,22
32	33	5,81	-34,59	0,01	0,02
Total Losses				43,04	34,54

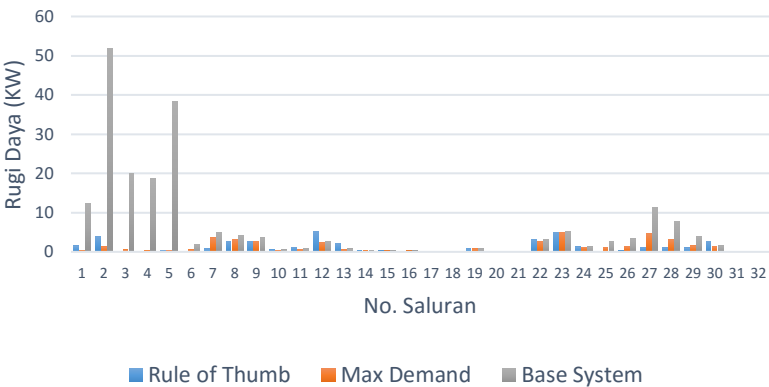
Diketahui bahwa total rugi daya skenario (E-3) dengan batasan keluaran daya *max demand* sebesar 43,04.

Tabel 4. 40. Solusi optimisasi skenario (E-3) “*max demand*”

Unit	Lokasi	Daya Keluaran	Total
DG	24	1,783	3,566 MW
	6	1,783	
Kapasitor	30	1,104	1,518 MVAR
	12	0,414	
Rekonfigurasi Jaringan			
Sending Bus		Receiving Bus	
20		21	
12		22	
13		14	
18		33	
28		29	

Dari tabel di atas, didapatkan bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif saluran yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan basic plant yaitu sebesar 80,64% pada metode *rule of thumb* dengan rugi daya 39,24 kW dan 78,76% pada *max demand* dengan rugi daya 43,04 kW. Untuk

keluaran daya aktif DG, keluaran daya aktif DG pada metode *rule of thumb* sebesar 2,376 MW dari keluaran daya maksimalnya yaitu 2,475 MW. Hal ini berarti keluaran dayanya sebesar 93,01% dari maksimal. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya aktifnya sebesar 3,566 MW dari keluaran daya aktif maksimalnya 3,715 MW. Hal ini berarti keluaran dayanya sebesar 93% dari maksimal. Untuk keluaran daya reaktif kapasitor, keluaran daya reaktif kapasitor pada metode *rule of thumb* sebesar 1,472 MVAR dari keluaran daya reaktif maksimalnya yaitu 1,533 MVAR atau 99,02% dari batasan maksimal. Sedangkan pada metode *max demand* keluaran daya reaktifnya sebesar 1,518 MVAR dari keluaran daya reaktif maksimalnya yaitu 2,3 MVAR atau 99,02% dari batasan maksimal. Dari hasil di atas diketahui bahwa optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus lebih efisien menggunakan metode batasan keluaran daya *rule of thumb* dibandingkan dengan *max demand* apabila ditinjau dari rugi daya yang dapat diturunkan dan daya yang dibangkitkan oleh DG. Hal ini dikarenakan pada metode *rule of thumb* dengan keluaran daya 2,376 MW dapat menurunkan rugi daya aktif saluran sampai dengan 80,64%, sedangkan pada metode *max demand* didapatkan daya keluaran yang maksimal yaitu sebesar 3,566 MW tetapi rugi daya yang diturunkan lebih rendah yaitu sebesar 78,76%.



Gambar 4. 19. Grafik perbandingan rugi daya skenario E-3 dengan *basic plant*

Dari gambar 4.19 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif yang signifikan dari kedua metode bila dibandingkan dengan *basic plant*. Optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor dapat menurunkan rugi daya pada seluruh saluran, terutama rugi daya pada saluran 1 sampai dengan 5 yang setelah dilakukan optimisasi, rugi daya pada saluran tersebut besarnya tidak berbeda jauh dengan saluran lainnya. Hal ini dikarenakan perubahan topologi jaringan yang lebih optimal, suplai daya aktif dari DG, dan suplai daya reaktif dari kapasitor.

Ditinjau dari profil tegangan bus, optimisasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor pada sistem distribusi IEEE 33 bus dapat memperbaiki profil tegangan sehingga tidak ada tegangan yang *undervoltage* maupun *overvoltage* dari *constraint* yang telah ditentukan yaitu 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Berikut ini adalah tabel tegangan tiap bus dan grafik perbandingan profil tegangan bus skenario E-3 dengan basic plant.

Tabel 4. 41. Profil tegangan bus skenario (E-3)

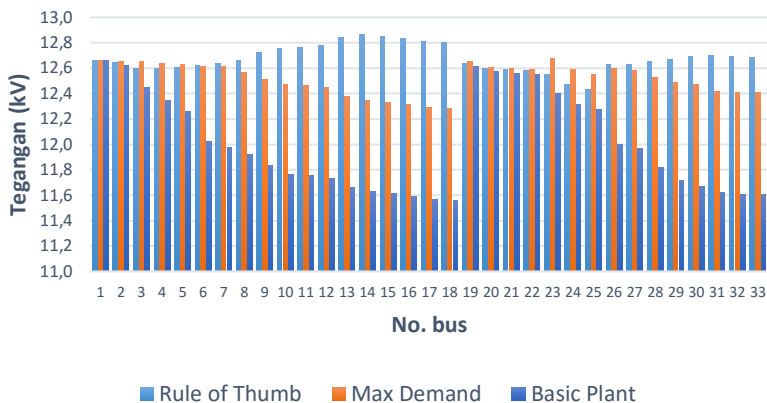
No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
1	12,660	12,66	12,660
2	12,647	12,6556	12,622
3	12,599	12,6545	12,444
4	12,600	12,6392	12,349
5	12,606	12,6281	12,256
6	12,624	12,6095	12,023
7	12,636	12,6146	11,979
8	12,659	12,5641	11,917
9	12,723	12,5136	11,838
10	12,752	12,4688	11,764
11	12,760	12,4607	11,753
12	12,778	12,4469	11,734
13	12,843	12,374	11,657

Tabel 4.41 Profil tegangan bus skenario (E-3) (lanjutan)

No	<i>Rule of Thumb</i> (kV)	<i>Max Demand</i> (kV)	<i>Basic Plant</i> (kV)
14	12,867	12,347	11,628
15	12,850	12,3302	11,610
16	12,835	12,3139	11,593
17	12,812	12,2897	11,567
18	12,805	12,2825	11,560
19	12,640	12,6489	12,616
20	12,595	12,6038	12,570
21	12,586	12,5949	12,562
22	12,578	12,5868	12,554
23	12,554	12,6735	12,399
24	12,470	12,5909	12,314
25	12,429	12,5498	12,272
26	12,627	12,5956	11,998
27	12,632	12,5779	11,966
28	12,651	12,5243	11,821
29	12,671	12,4888	11,717
30	12,692	12,4695	11,672
31	12,700	12,4202	11,619
32	12,689	12,4094	11,608
33	12,686	12,406	11,604

Tabel 4.41 Profil tegangan bus skenario (E-3) (lanjutan)

Dari tabel 4.41 di atas, diketahui bahwa metode *rule of thumb* dan *max demand* mampu memperbaiki profil tegangan bus sehingga tegangan bus telah memenuhi *constraint* 0,95-1,05 pu. Walaupun semua tegangan bus masih di dalam *constraint*, terdapat beberapa bus pada metode *rule of thumb* yang melewati 1 pu pada bus 30 sampai 33.



Gambar 4. 20. Perbandingan tegangan skenario E-3 dengan *basic plant*

4.5.4. Analisis Keseluruhan Skenario

Setelah dilakukan simulasi rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG dengan beberapa skenario di atas dan didapatkan hasil, maka dapat dilakukan perbandingan untuk menentukan skenario yang paling optimum dan efisien dari simulasi yang dilakukan. Berikut ini adalah tabel perbandingan hasil optimisasi dari setiap skenario.

Tabel 4. 42. Tabel perbandingan keseluruhan skenario D

NO	Skenario	Daya Keluaran		\sum Rugi Daya (kW)	Profil Tegangan
		Kapasitor (MVAR)	DG (MW)		
1	Basic plant	-	-	202,7	<i>Under voltage</i>
2	E-1 <i>Rule of thumb</i>	1,472	2,302	32,08	Normal
3	E-1 <i>Max demand</i>	1,518	3,455	40,49	Normal
4	E-2 <i>Rule of thumb</i>	1,472	2,376	34,31	Normal
5	E-2 <i>Max demand</i>	1,518	3,715	41,27	Normal

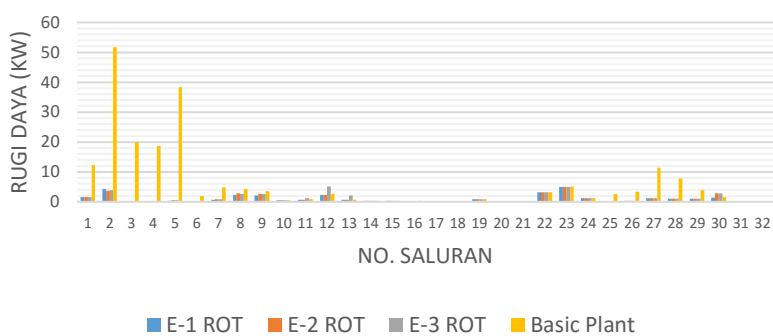
Tabel 4. 43. Tabel perbandingan keseluruhan skenario D (lanjutan)

NO	Skenario	Daya Keluaran		Σ Rugi Daya (kW)	Profil Tegangan
		Kapasitor (MVAR)	DG (MW)		
6	E-3 <i>Rule of thumb</i>	1,472	2,376	39,24	Normal
7	E-3 <i>Max demand</i>	1,518	3,715	43,04	Normal

Dari tabel di atas, diketahui bahwa seluruh skenario telah mampu menurunkan rugi daya secara signifikan, meningkatkan keluaran daya aktif DG, dan memperbaiki profil tegangan bus sehingga memenuhi *constraint* yang telah ditentukan. Rekonfigurasi jaringan mampu menurunkan rugi daya saluran, penempatan DG dan kapasitor mampu menurunkan rugi daya aktif dan reaktif, keduanya mampu memperbaiki profil tegangan bus. Apabila hanya ditinjau dari keluaran daya aktif DG, maka metode pembatasan keluaran daya *max demand* merupakan metode yang paling efektif karena hampir di setiap skenario didapatkan keluaran daya aktif DG paling maksimal, daya keluarannya 100% dari batas maksimalnya. Sedangkan apabila ditinjau dari kedua fungsi objektif, yakni rugi daya aktif saluran dan keluaran daya aktif DG, maka metode pembatasan keluaran daya *rule of thumb* merupakan metode yang paling efektif karena dengan pembangkitan daya DG yang lebih kecil dari metode *max demand* tetapi rugi daya yang dihasilkan jauh lebih minimal. Metode *rule of thumb* menjadi optimal dikarenakan apabila suatu sistem diinjeksi daya aktif dari DG maka rugi daya total saluran akan turun sampai dengan titik tertentu, kemudian rugi daya kembali naik apabila injeksi daya tetap dilakukan. Hal inilah yang terjadi pada metode *max demand*.

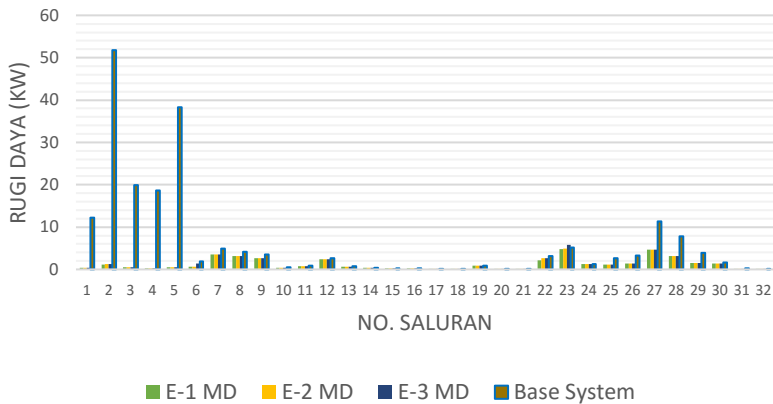
Ditinjau dari pembobotan, hasil yang didapatkan sesuai dengan nilai pembobotan antara rugi daya aktif saluran dengan keluaran daya aktif DG. Ketika pembobotan rugi daya saluran (0,8), yang artinya multiobjektif lebih condong untuk meminimasi rugi daya saluran dibandingkan meningkatkan keluaran daya aktif DG (0,2), maka didapatkan hasil simulasi rugi dayanya juga yang paling minimal yaitu 32,08 kW. Lain halnya ketika pembobotan lebih condong untuk meningkatkan keluaran daya aktif (0,8) dan kurang memperhatikan rugi daya (0,2). Maka didapatkan hasil keluaran daya yang maksimal yaitu

2,376 MW tetapi rugi daya yang terjadi lebih besar dibanding pembobotan lainnya yaitu 39,24 kW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pembobotan yang paling efisien yaitu rugi daya (0,8) dan keluaran daya aktif DG (0,2). Berikut ini analisis perbandingan keseluruhan skenario dalam grafik.



Gambar 4. 21. Grafik perbandingan rugi daya *rule of thumb* tiap pembobotan skenario E

Gambar 4.21 merupakan grafik perbandingan rugi daya dengan batasan keluaran daya *rule of thumb* dari setiap pembobotan pada skenario E. Terlihat bahwa terjadi penurunan rugi daya yang sangat signifikan pada bus 1 sampai 5 dan bus 27 sampai 29 setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, penempatan kapasitor dan DG secara simultan. Sedangkan untuk grafik perbandingan rugi daya metode *max demand* tiap pembobotan dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4. 22. Grafik perbandingan rugi daya *max demand* tiap pembobotan skenario E

4.6. Validasi Hasil Simulasi

Setelah dilakukan simulasi menggunakan software MATLAB dengan metode aliran daya *modified Backward-Forward*, perlu dilakukan validasi untuk membuktikan kebenaran dari metode yang diusulkan. Dilakukan validasi menggunakan software ETAP 12.6 menggunakan metode *Newton Raphson*. Validasi ini juga bertujuan untuk mengetahui nilai *error* atau selisih perhitungan dari kedua perhitungan.

Tabel 4. 44. Validasi hasil simulasi

Skenario	P Loss MATLAB (kW)	P Loss ETAP (kW)	Error (%)
A	202,686	202,700	0,007%
B	139,982	140,000	0,013%
C	143,9	144,5	0,417%
D	88,09	88,088	0,003%
E	32,08	32,300	0,686%

Dari hasil validasi di atas diketahui bahwa hasil yang didapatkan dari hasil simulasi MATLAB ketika disimulasikan pada software ETAP

memiliki hasil dengan *error* di bawah 1%. *Error* atau selisih terbesar terjadi pada skenario yang mengandung kapasitor.

4.7. Perbandingan dengan Metode Optimisasi Lain

Pada tugas akhir ini, dilakukan optimisasi menggunakan algoritma genetika pada jaringan distribusi radial 33 bus standar IEEE. Untuk membuktikan keakurasian dan efektivitas optimisasi metode yang diusulkan yaitu menggunakan algoritma genetika, berikut ini adalah perbandingan optimisasi dengan metode algoritma genetika dengan metode *Particle Swarm Optimization* [17]. Perbandingan ini dilakukan pada skenario dan *plant* yang sama.

Tabel 4. 45. Perbandingan dengan metode optimisasi lain

No	Skenario	Rugi Daya Aktif (kW)	
		GA (Metode yang diusulkan)	PSO
1	Rekonfigurasi	139,98	136,3
2	Penempatan DG	88,09	309,23
3	Simultan	41,27	145,64

Dari tabel di atas diketahui bahwa metode yang diusulkan yaitu algoritma genetika menghasilkan rugi daya yang sedikit lebih besar yaitu 139,98 kW dibandingkan PSO sebesar 136,3 kW. Pada metode penempatan DG saja, hasil yang didapatkan dari metode algoritma genetika sebesar 88,09 kW jauh lebih baik bila dibandingkan dengan metode PSO yang rugi dayanya masih sangat besar yaitu 309,23 kW. Sedangkan ketika dilakukan simulasi rekonfigurasi, penempatan DG, dan kapasitor secara simultan maka didapatkan rugi daya metode algoritma genetika yang nilainya 41,27 kW jauh lebih efektif dibandingkan dengan PSO yang nilainya sebesar 145,64 kW.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rugi daya aktif saluran pada simulasi *basic plant* masih cukup besar yaitu 202,686 kW dan terjadi *undervoltage* pada bus 6 sampai 18 dan 26 sampai 33.
2. Pada skenario rekonfigurasi jaringan terjadi penurunan rugi daya aktif pada saluran sebesar 30,93% dari 202,7 kW menjadi 139,982 kW. Akan tetapi masih terjadi *undervoltage* pada bus 17, 18 dan 29 sampai dengan 33.
3. Pada skenario penempatan 2 kapasitor, metode *rule of thumb* mampu menurunkan rugi daya sampai dengan 143,9 kW tetapi masih terjadi *undervoltage* pada bus 12 sampai 18 dan bus 29 sampai dengan 33. Sedangkan metode *max demand* mampu menurunkan rugi daya sebesar 146,07 kW dan tidak ada bus yang *undervoltage*.
4. Pada skenario penempatan 2 DG, rugi daya paling minimal didapatkan pada skenario (D-1) yaitu pembobotan fungsi multiobjektif rugi daya (0,8) dan keluaran daya aktif (0,2) metode *rule of thumb* sebesar 88,09 kW dengan keluaran daya aktif 2,3986 MW dan seluruh tegangan bus telah memenuhi *constraint* 0,95 pu sampai 1,05 pu.
5. Pada skenario rekonfigurasi jaringan, penempatan 2 DG dan 2 kapasitor secara simultan, skenario E-1 dengan metode *rule of thumb* didapatkan rugi daya paling minimal dibandingkan seluruh skenario yaitu sebesar 32,08 kW atau terjadi penurunan 80,64% dibanding rugi daya awal dengan keluaran daya aktif DG 2,302 MW dan seluruh tegangan bus telah memenuhi *constraint*. Metode batasan daya *rule of thumb* terbukti lebih efektif dibanding *max demand* pada seluruh skenario E.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan perbaikan ke depannya adalah sebagai berikut:

1. Implementasi program ke *plant* riil di lapangan dengan tegangan tiga fasa tidak seimbang.
2. Dapat dilakukan penambahan fungsi multiobjektif.
3. Pemodelan DG lebih detail agar sesuai kondisi di lapangan.

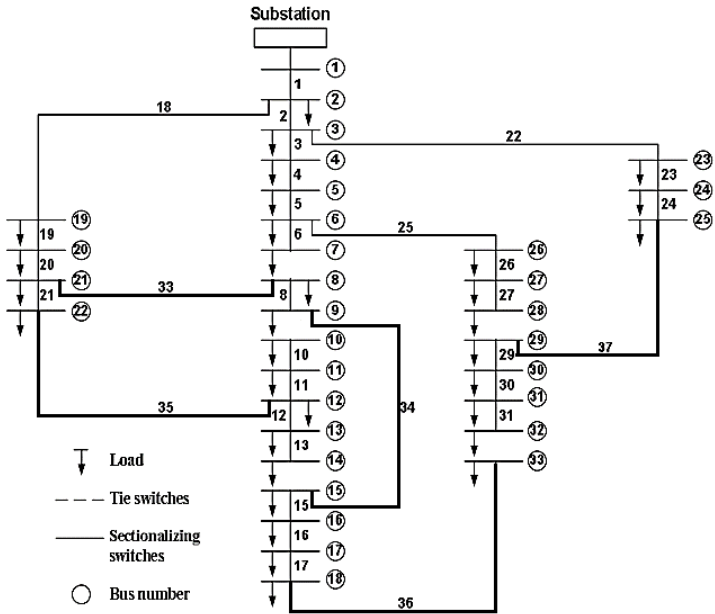
DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, dan D. P. Kothari, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," *International J. Electrical Power Energy System*, vol. 63, pp. 461–472, Desember, 2014.
- [2] A. Yadav dan L. Srivastava, "Optimal placement of distributed generation: An overview and key issues," *Power Signals Control and Computations (EPSCICON)*, 2014 International Conference, 2014, pp. 1–6.
- [3] P. Andea, M. Nicoara, dan Academia Română, "Clustering Analysis and its Application in Electrical Distribution System." WSEAS Press, 2010.
- [4] T. Ackermann, G. Andersson, dan L. Söder, "Distributed generation: a definition," *Electrical Power System Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001.
- [5] C. L. T. Borges dan D. M. Falcão, "Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement," *Int. J. Electr. Power Energy System*, vol. 28, no. 6, pp. 413–420, Jul. 2006.
- [6] P. K. Satpathy, D. Das, and P. D. Gupta, "A novel fuzzy index for steady state voltage stability analysis and identification of critical busbars," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 63, no. 2, pp. 127–140, 2002.
- [7] M. Mohammadi dan M. A. Nasab, "PSO based multiobjective approach for optimal sizing and placement of distributed generation," *Res. Journal Applied Science Eng. Technology.*, vol. 2, no. 8, pp. 832–837, 2011.
- [8] W. Al-Saedi, S. W. Lachowicz, D. Habibi, dan O. Bass, "Power quality enhancement in autonomous microgrid operation using Particle Swarm Optimization," *Int. Journal Electrical Power Energy System*, vol. 42, no. 1, pp. 139–149, November, 2012.
- [9] Robandi, Imam, *Desain Sistem Tenaga Modern, Optimisasi, Logika Fuzzy, dan Algoritma Genetika*. Yogyakarta: ANDI, 2006.
- [10] D. A. Coley, *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1999.
- [11] B. A. S. Pires, C. B. M., dan J. T. de Oliveira, "Maximising Penetration Of Active Power By Distributed Generation On A Real

- System,” 21st International Conference Electrical Distribution, Juni, 2011.
- [12] K. Liu, W. Sheng, and S. Cheng, “Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation,” IET Generation Transmission & Distribution., vol. 8, no. 2, pp. 261–272, Pebruari, 2014.
 - [13] H. Saadat, *Power System Analysis*. WCB McGraw-Hill, 1999.
 - [14] Erwin Prawira, Ontoseno, dan Ni Ketut, “Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) Dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetic Algorithm (GA).” Jurnal Teknik Elektro ITS, Juni 2016.
 - [15] H. L. Willis, “Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-distribution interaction,” Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, 2000, vol. 3, pp. 1643–1644.
 - [16] K.-F. Man, K.-S. Tang, dan S. Kwong, “Genetic algorithms: concepts and applications (In Engineering Design),” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 43, no. 5, pp. 519–534, 1996.
 - [17] P. Kumar, “Network Reconfiguration Of Distribution System Using Particle Swarm Optimization,” International Journal Engineering Computer Science, Agustus. 2016.

LAMPIRAN A

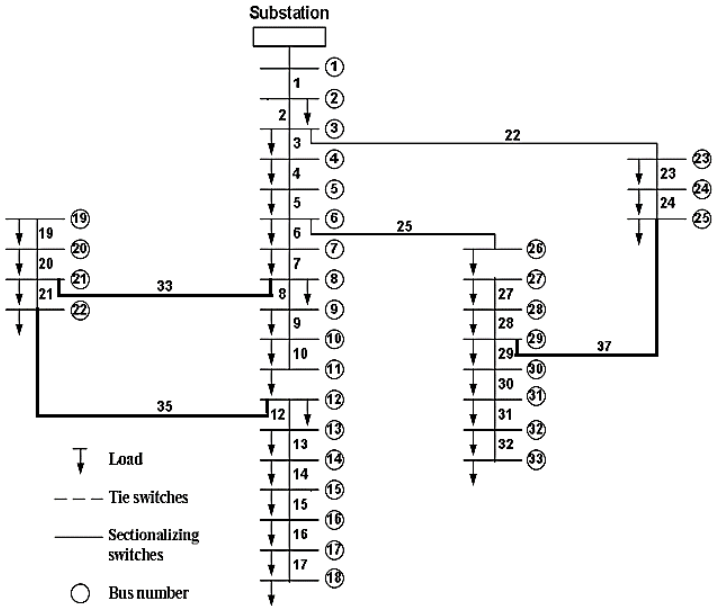
Topologi sistem skenario B



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

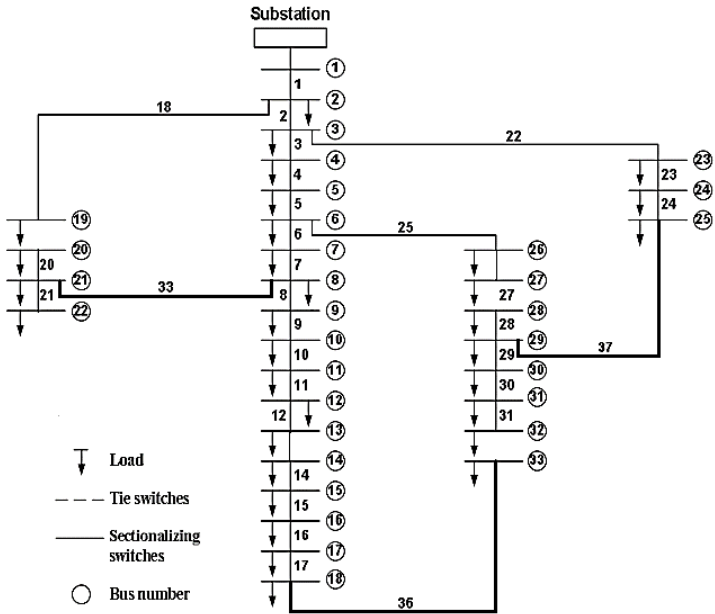
Topologi sistem skenario D-1 *max demand*



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

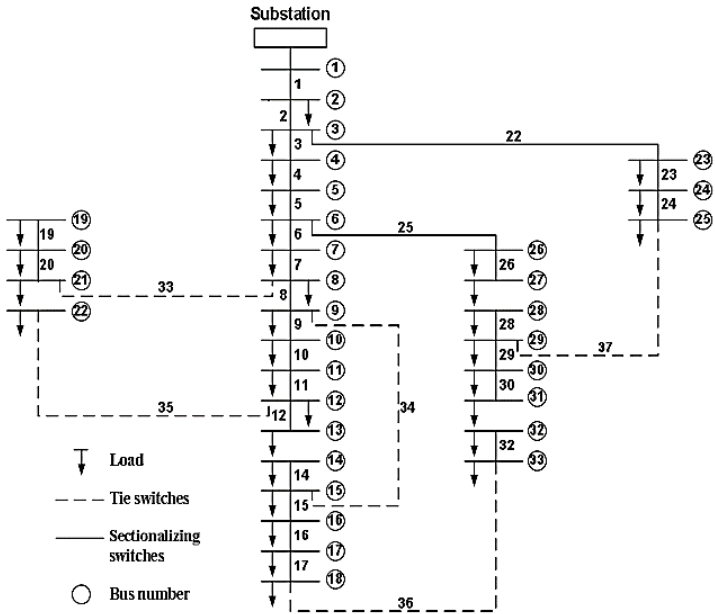
Topologi sistem skenario D-2 *Rule of Thumb*



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D

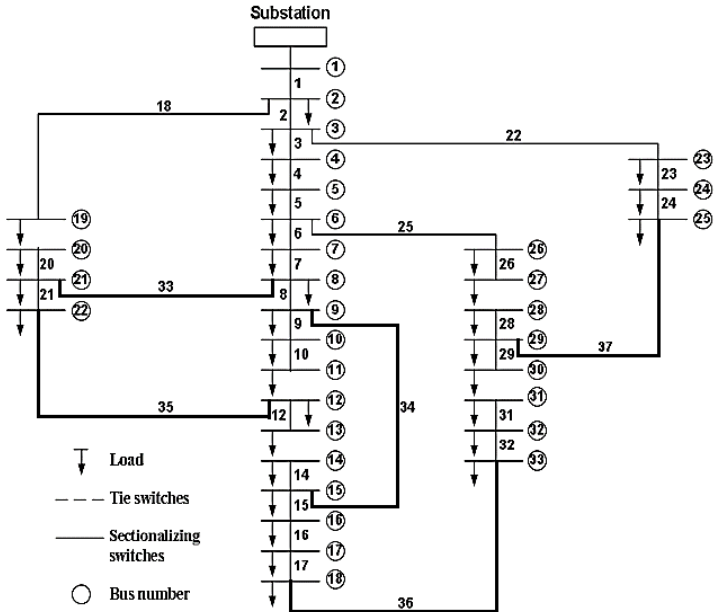
Topologi sistem skenario D-2 Max Demand



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN E

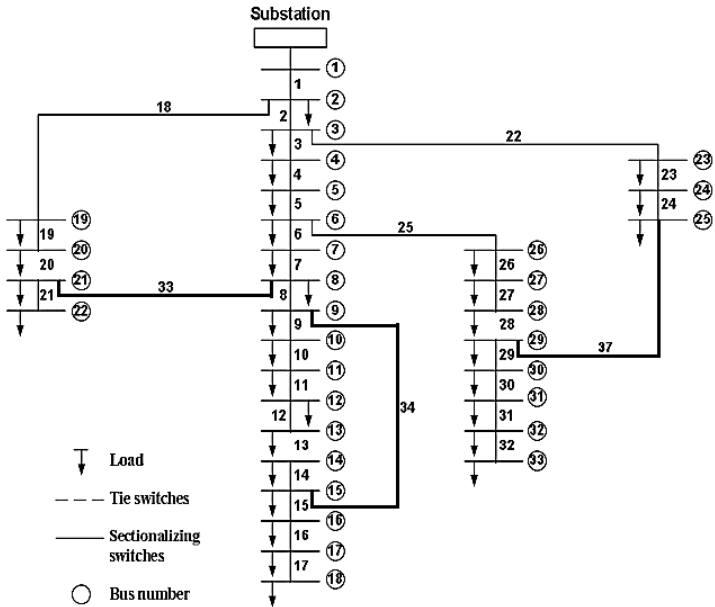
Topologi sistem skenario D-3 *Rule of Thumb*



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN F

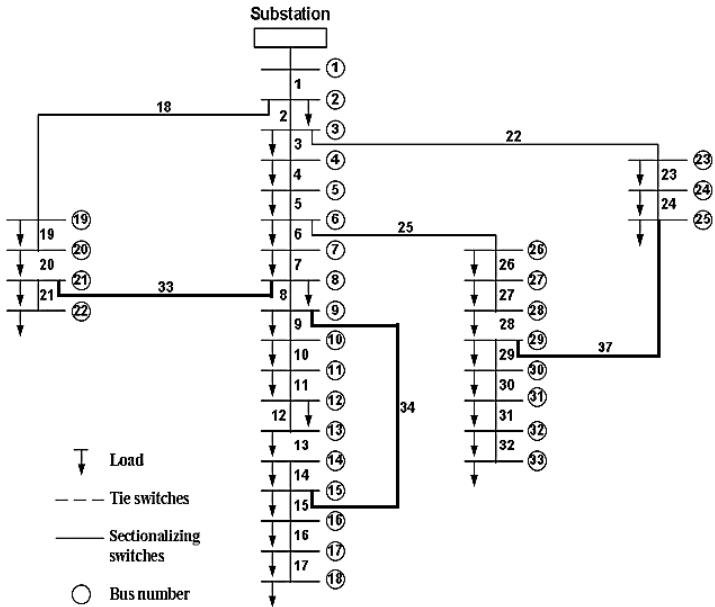
Topologi sistem skenario D-3 Max Demand



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN G

Topologi sistem skenario D-3 Max Demand



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN H

Validasi ETAP Skenario A

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	% Drop To	in Vmag
Z1	3,918	2,435	-3,905	-2,429	12,2	6,2	100,0	99,7	0,30
Z2	3,444	2,208	-3,393	-2,181	51,8	26,4	99,7	98,3	1,41
Z18	0,361	0,161	-0,361	-0,161	0,2	0,2	99,7	99,7	0,05
Z3	2,363	1,684	-2,343	-1,674	19,9	10,1	98,3	97,5	0,75
Z22	0,940	0,457	-0,936	-0,455	3,2	2,2	98,3	97,9	0,36
Z4	2,223	1,594	-2,204	-1,585	18,7	9,5	97,5	96,8	0,74
Z5	2,144	1,555	-2,106	-1,522	38,2	33,0	96,8	95,0	1,84
Z6	1,095	0,528	-1,093	-0,522	1,9	6,3	95,0	94,6	0,35
Z25	0,951	0,974	-0,948	-0,972	2,6	1,3	95,0	94,8	0,19
Z7	0,893	0,422	-0,889	-0,420	4,9	1,6	94,6	94,1	0,49
Z8	0,689	0,320	-0,684	-0,317	4,2	3,0	94,1	93,5	0,63
Z9	0,624	0,297	-0,621	-0,294	3,6	2,5	93,5	92,9	0,58
Z10	0,561	0,274	-0,560	-0,274	0,6	0,2	92,9	92,8	0,09
Z11	0,515	0,244	-0,514	-0,244	0,9	0,3	92,8	92,7	0,15
Z12	0,454	0,209	-0,452	-0,207	2,7	2,1	92,7	92,1	0,61
Z13	0,392	0,172	-0,391	-0,171	0,7	1,0	92,1	91,8	0,23
Z14	0,271	0,091	-0,271	-0,091	0,4	0,3	91,8	91,7	0,14
Z15	0,211	0,081	-0,210	-0,080	0,3	0,2	91,7	91,6	0,14
Z16	0,150	0,060	-0,150	-0,060	0,3	0,3	91,6	91,4	0,20
Z17	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,1	0,0	91,4	91,3	0,06
Z19	0,271	0,121	-0,270	-0,120	0,8	0,7	99,7	99,3	0,36

Z20	0,180	0,080	-0,180	-0,080	0,1	0,1	99,3	99,2	0,07
Z21	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,0	0,1	99,2	99,2	0,06
Z23	0,846	0,405	-0,841	-0,401	5,1	4,1	97,9	97,3	0,67
Z24	0,421	0,201	-0,420	-0,200	1,3	1,0	97,3	96,9	0,33
Z26	0,888	0,947	-0,885	-0,946	3,3	1,7	94,8	94,5	0,26
Z27	0,825	0,921	-0,814	-0,911	11,3	10,0	94,5	93,4	1,14
Z28	0,754	0,891	-0,746	-0,884	7,8	6,8	93,4	92,6	0,82
Z29	0,626	0,814	-0,622	-0,812	3,9	2,0	92,6	92,2	0,36
Z30	0,422	0,212	-0,420	-0,210	1,6	1,6	92,2	91,8	0,42
Z31	0,270	0,140	-0,270	-0,140	0,2	0,2	91,8	91,7	0,09
Z32	0,060	0,040	-0,060	-0,040	0,0	0,0	91,7	91,7	0,03
					202,7	135,1			

LAMPIRAN I

Validasi ETAP Skenario B

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To % Drop	
Z1	3,855	2,405	-3,843	-2,399	11,9	6,1	100,0	99,7	0,29
Z2	2,410	1,692	-2,383	-1,678	26,8	13,7	99,7	98,7	1,01
Z18	1,333	0,647	-1,331	-0,645	2,3	2,2	99,7	99,5	0,20
Z3	0,623	0,302	-0,622	-0,302	1,1	0,6	98,7	98,5	0,18
Z22	1,670	1,336	-1,657	-1,327	13,2	9,0	98,7	98,0	0,74
Z4	0,502	0,222	-0,501	-0,221	0,7	0,4	98,5	98,4	0,15
Z5	0,441	0,191	-0,440	-0,190	1,2	1,1	98,4	98,1	0,32
Z6	0,200	0,100	-0,200	-0,100	0,1	0,2	98,1	98,0	0,06
Z25	0,180	0,070	-0,180	-0,070	0,0	0,0	98,1	98,0	0,03
Z8	0,394	0,154	-0,393	-0,153	1,2	0,9	96,3	95,9	0,34
Z33	-0,594	-0,254	0,600	0,259	5,6	5,6	96,3	97,4	1,10
Z35	0,333	0,133	-0,331	-0,131	1,7	1,7	95,9	95,3	0,61
Z10	-0,060	-0,020	0,060	0,020	0,0	0,0	96,3	96,3	0,01
Z11	-0,105	-0,050	0,105	0,050	0,0	0,0	96,3	96,3	0,03
Z12	0,181	0,115	-0,180	-0,115	0,5	0,4	96,3	96,0	0,26
Z34	-0,346	-0,200	0,348	0,203	2,1	2,1	96,3	97,0	0,71
Z13	0,120	0,080	-0,120	-0,080	0,1	0,1	96,0	96,0	0,08
Z15	0,271	0,121	-0,271	-0,121	0,5	0,3	95,3	95,1	0,18
Z16	0,211	0,101	-0,210	-0,100	0,5	0,6	95,1	94,9	0,29
Z17	0,150	0,080	-0,150	-0,080	0,1	0,1	94,9	94,7	0,10
Z36	0,060	0,040	-0,060	-0,040	0,0	0,0	94,7	94,7	0,03

Z19	1,241	0,605	-1,223	-0,588	18,1	16,3	99,5	97,8	1,68
Z20	1,133	0,548	-1,129	-0,544	4,2	4,9	97,8	97,4	0,46
Z21	0,439	0,244	-0,438	-0,243	1,2	1,6	97,4	97,0	0,35
Z23	1,567	1,277	-1,543	-1,258	23,9	18,8	98,0	96,5	1,47
Z24	1,123	1,058	-1,109	-1,047	14,3	11,2	96,5	95,4	1,13
Z37	0,689	0,847	-0,684	-0,843	4,1	4,1	95,4	94,9	0,50
Z26	0,120	0,045	-0,120	-0,045	0,0	0,0	98,0	98,0	0,03
Z27	0,060	0,020	-0,060	-0,020	0,0	0,0	98,0	97,9	0,05
Z29	0,564	0,773	-0,561	-0,771	3,2	1,6	94,9	94,5	0,32
Z30	0,361	0,171	-0,360	-0,170	1,1	1,1	94,5	94,2	0,34
Z31	0,210	0,100	-0,210	-0,100	0,1	0,1	94,2	94,1	0,07
					140,0	104,9			

LAMPIRAN J

Validasi ETAP Skenario C

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	% Drop To	in Vmag
Z1	3,857	1,274	-3,848	-1,269	9,5	4,8	100,0	99,7	0,26
Z2	3,387	1,048	-3,348	-1,028	38,9	19,8	99,7	98,5	1,21
Z18	0,361	0,161	-0,361	-0,161	0,2	0,2	99,7	99,7	0,05
Z3	2,318	0,531	-2,305	-0,524	13,3	6,8	98,5	97,9	0,60
Z22	0,940	0,457	-0,936	-0,455	3,2	2,2	98,5	98,2	0,36
Z4	2,185	0,444	-2,173	-0,438	12,3	6,3	97,9	97,3	0,59
Z5	2,113	0,408	-2,088	-0,386	25,0	21,6	97,3	96,1	1,29
Z6	1,093	0,008	-1,092	-0,003	1,5	5,0	96,1	95,9	0,14
Z25	0,935	0,358	-0,934	-0,358	1,4	0,7	96,1	95,9	0,15
Z7	0,892	-0,097	-0,888	0,098	3,9	1,3	95,9	95,5	0,40
Z8	0,688	-0,198	-0,684	0,201	3,6	2,6	95,5	95,2	0,37
Z9	0,624	-0,221	-0,621	0,223	3,2	2,2	95,2	94,8	0,32
Z10	0,562	-0,243	-0,561	0,243	0,5	0,2	94,8	94,8	0,06
Z11	0,516	-0,273	-0,515	0,273	0,9	0,3	94,8	94,7	0,10
Z12	0,455	-0,308	-0,452	0,311	3,1	2,4	94,7	94,5	0,20
Z13	0,392	-0,346	-0,391	0,347	1,0	1,4	94,5	94,5	0,02
Z14	0,271	-0,427	-0,270	0,428	1,1	0,9	94,5	94,5	0,04
Z15	0,211	0,081	-0,210	-0,080	0,3	0,2	94,5	94,4	0,13
Z16	0,150	0,060	-0,150	-0,060	0,2	0,3	94,4	94,2	0,20
Z17	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,1	0,0	94,2	94,1	0,06
Z19	0,271	0,121	-0,270	-0,120	0,8	0,7	99,7	99,3	0,36

Z20	0,180	0,080	-0,180	-0,080	0,1	0,1	99,3	99,3	0,07
Z21	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,0	0,1	99,3	99,2	0,06
Z23	0,846	0,405	-0,841	-0,401	5,1	4,0	98,2	97,5	0,67
Z24	0,421	0,201	-0,420	-0,200	1,3	1,0	97,5	97,2	0,33
Z26	0,874	0,333	-0,872	-0,332	1,7	0,9	95,9	95,7	0,19
Z27	0,812	0,307	-0,807	-0,302	5,4	4,8	95,7	95,0	0,75
Z28	0,747	0,282	-0,743	-0,279	3,5	3,1	95,0	94,4	0,52
Z29	0,623	0,209	-0,622	-0,208	1,5	0,8	94,4	94,2	0,24
Z30	0,422	0,212	-0,420	-0,210	1,5	1,5	94,2	93,8	0,41
Z31	0,270	0,140	-0,270	-0,140	0,2	0,2	93,8	93,7	0,09
Z32	0,060	0,040	-0,060	-0,040	0,0	0,0	93,7	93,7	0,03

144,3 96,4

LAMPIRAN K

Validasi ETAP Skenario D

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	% Drop To	in Vmag
Z1	1,405	2,360	-1,401	-2,358	4,3	2,2	100,0	99,9	0,15
Z2	0,940	2,137	-0,923	-2,129	16,8	8,6	99,9	99,2	0,62
Z18	0,361	0,161	-0,361	-0,161	0,2	0,2	99,9	99,8	0,05
Z3	-0,107	1,631	0,113	-1,628	6,2	3,2	99,2	99,1	0,17
Z22	0,939	0,457	-0,936	-0,455	3,1	2,1	99,2	98,9	0,36
Z4	-0,233	1,548	0,239	-1,545	5,9	3,0	99,1	98,9	0,13
Z5	-0,299	1,515	0,311	-1,505	12,5	10,8	98,9	98,4	0,52
Z6	-0,074	0,519	0,074	-0,518	0,3	1,1	98,4	98,2	0,19
Z25	-0,298	0,966	0,299	-0,965	1,3	0,7	98,4	98,4	0,02
Z7	-0,274	0,418	0,275	-0,417	1,2	0,4	98,2	98,3	0,06
Z8	-0,475	0,317	0,477	-0,316	2,2	1,6	98,3	98,4	0,16
Z9	-0,537	0,296	0,540	-0,294	2,5	1,8	98,4	98,7	0,22
Z10	0,560	0,274	-0,560	-0,274	0,5	0,2	98,7	98,6	0,08
Z11	0,515	0,244	-0,514	-0,243	0,8	0,3	98,6	98,4	0,14
Z12	0,454	0,208	-0,451	-0,207	2,4	1,9	98,4	97,9	0,57
Z13	0,391	0,172	-0,391	-0,171	0,6	0,8	97,9	97,6	0,21
Z14	0,271	0,091	-0,271	-0,091	0,3	0,3	97,6	97,5	0,13
Z15	0,211	0,081	-0,210	-0,080	0,2	0,2	97,5	97,4	0,13
Z16	0,150	0,060	-0,150	-0,060	0,2	0,3	97,4	97,2	0,19
Z17	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,0	0,0	97,2	97,1	0,06

Z19	0,271	0,121	-0,270	-0,120	0,8	0,7	99,8	99,4	0,36
Z20	0,180	0,080	-0,180	-0,080	0,1	0,1	99,4	99,4	0,07
Z21	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,0	0,1	99,4	99,3	0,06
Z23	0,846	0,405	-0,841	-0,401	5,0	4,0	98,9	98,2	0,66
Z24	0,421	0,201	-0,420	-0,200	1,3	1,0	98,2	97,9	0,33
Z26	-0,359	0,940	0,361	-0,939	1,9	0,9	98,4	98,4	0,02
Z27	-0,421	0,914	0,428	-0,908	6,9	6,1	98,4	98,1	0,25
Z28	-0,488	0,888	0,493	-0,883	5,4	4,7	98,1	98,0	0,14
Z29	-0,613	0,813	0,616	-0,812	3,4	1,7	98,0	98,0	0,06
Z30	0,422	0,212	-0,420	-0,210	1,4	1,4	98,0	97,6	0,39
Z31	0,270	0,140	-0,270	-0,140	0,2	0,2	97,6	97,6	0,09
Z32	0,060	0,040	-0,060	-0,040	0,0	0,0	97,6	97,5	0,03
					88,088	60,392			

LAMPIRAN L

Validasi ETAP Skenario E

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	% Drop To	
Z1	1,347	0,878	-1,346	-0,877	1,5	0,8	100,0	99,9	0,10
Z2	1,156	0,777	-1,150	-0,774	6,0	3,0	99,9	99,4	0,48
Z18	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,0	0,0	99,9	99,9	0,01
Z3	0,521	0,109	-0,520	-0,109	0,7	0,3	99,4	99,3	0,13
Z22	0,539	0,624	-0,537	-0,623	1,9	1,3	99,4	99,1	0,27
Z4	0,400	0,029	-0,400	-0,029	0,4	0,2	99,3	99,2	0,10
Z5	0,340	-0,001	-0,339	0,002	0,6	0,5	99,2	99,0	0,17
Z6	0,219	-0,047	-0,219	0,047	0,1	0,2	99,0	99,0	0,01
Z25	0,060	0,025	-0,060	-0,025	0,0	0,0	99,0	99,0	0,01
Z7	0,019	-0,147	-0,019	0,147	0,1	0,0	99,0	99,0	0,01
Z8	-0,452	-0,368	0,454	0,370	2,2	1,6	99,0	99,5	0,47
Z33	0,271	0,121	-0,270	-0,120	1,1	1,1	99,0	98,5	0,49
Z9	-0,969	0,125	0,975	-0,120	6,3	4,4	99,5	100,1	0,58
Z34	0,454	0,214	-0,451	-0,211	3,2	3,2	99,5	98,6	0,84
Z10	0,165	0,100	-0,165	-0,100	0,0	0,0	100,1	100,0	0,02
Z11	0,120	0,070	-0,120	-0,070	0,0	0,0	100,0	100,0	0,03
Z12	0,060	0,035	-0,060	-0,035	0,0	0,0	100,0	99,9	0,08
Z14	-0,120	-0,080	0,120	0,080	0,1	0,1	98,6	98,6	0,07
Z15	0,271	0,121	-0,271	-0,121	0,4	0,3	98,6	98,5	0,17
Z16	0,211	0,101	-0,210	-0,100	0,5	0,6	98,5	98,2	0,28
Z17	0,150	0,080	-0,150	-0,080	0,1	0,1	98,2	98,1	0,10

Z35	0,060	0,040	-0,060	-0,040	0,0	0,0	98,1	98,1	0,03
Z20	-0,090	-0,040	0,090	0,040	0,0	0,0	98,5	98,5	0,04
Z21	0,090	0,040	-0,090	-0,040	0,0	0,1	98,5	98,5	0,06
Z23	0,447	0,573	-0,444	-0,571	3,0	2,4	99,1	98,6	0,51
Z24	0,024	0,371	-0,023	-0,370	0,8	0,6	98,6	98,5	0,18
Z36	-0,397	0,170	0,397	-0,169	0,6	0,6	98,5	98,5	0,07
Z27	-0,060	-0,025	0,060	0,025	0,0	0,0	98,4	98,5	0,06
Z28	-0,120	-0,045	0,120	0,045	0,1	0,1	98,5	98,5	0,08
Z29	-0,638	0,054	0,639	-0,054	1,3	0,7	98,5	98,7	0,20
Z30	0,361	0,171	-0,360	-0,170	1,0	1,0	98,7	98,4	0,33
Z31	0,210	0,100	-0,210	-0,100	0,1	0,1	98,4	98,3	0,06

32,3 23,5

RIWAYAT PENULIS



Handy Satria dilahirkan di kota Jember, 25 Desember 1995. Menghabiskan masa kecil sampai dengan remaja di kota kelahirannya, hijrah ke kota pahlawan untuk memperjuangkan cita-cita dengan menempuh pendidikan tinggi di Departemen Teknik Elektro, kampus perjuangan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui surel *handysatria@gmail.com*.